

"十三五"职业教育规划教材

高职高专土建专业"互联网+"创新规划教材



第三版

建筑力学与结构

吴承霞　宋贵彩◎主编

采用现行规范编写，围绕两套建筑结构施工图展开讲解 ●

紧跟互联网时代步伐，以"互联网+"思维拓展阅读内容 ●

采用AR虚拟现实技术，平面图变三维立体模型，多角度查看 ●









"十三五"职业教育规划教材

高职高专土建专业"互联网+"创新规划教材



第三版

建筑力学与结构

主　编　吴承霞　宋贵彩

副主编　魏玉琴　王　焱　汪耀武　张　毅

参　编　孔　惠　宋　乔　李亚敏　尚瑞娟　王以贤　夏晋华　韩　梅



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书按照最新国家规范编写，紧密围绕两套建筑结构施工图纸展开。书中内容按照模块教学要求编排，包括力学结构的概念，建筑结构施工图，建筑力学基本知识，结构构件上的荷载及支座反力计算，构件内力计算及荷载效应组合，钢筋混凝土梁、板，钢筋混凝土柱，钢筋混凝土框架结构构造，钢筋混凝土楼盖、楼梯及雨篷，砌体结构墙、柱，多高层房屋结构简介，装配式混凝土结构简介，地基与基础，钢结构。

本书既可作为高等职业教育建筑工程技术、工程监理等专业的教材，也可作为岗位培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学与结构/吴承霞，宋贵彩主编．—3版．—北京：北京大学出版社，2018.5
(高职高专土建专业“互联网+”创新规划教材)
ISBN 978-7-301-29209-9

Ⅰ.①建… Ⅱ.①吴… ②宋… Ⅲ.①建筑科学—力学—高等职业教育—教材②建筑结构—高等职业教育—教材 Ⅳ.①TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第026291号

书　　名 建筑力学与结构（第三版）
JIANZHU LIXUE YU JIEGOU
著作责任者 吴承霞　宋贵彩　主编
策划编辑 杨星璐
责任编辑 伍大维
数字编辑 陈颖颖　贾新越
标准书号 ISBN 978-7-301-29209-9
出版发行 北京大学出版社
地　　址 北京市海淀区成府路205号　100871
网　　址 http://www.pup.cn　新浪微博：@北京大学出版社
电子信箱 pup_6@163.com
电　　话 邮购部62752015　发行部62750672　编辑部62750667
印 刷 者
经 销 者 新华书店
787毫米×1092毫米　16开本　25.75印张　603千字
2009年9月第1版　2013年4月第2版
2018年5月第3版　2018年5月第1次印刷（总第20次印刷）
定　　价 59.50元

第三版



建筑类高等职业教育把培养面向施工一线的高技能专门人才作为培养目标。高等职业院校的学生不仅需要具备一定的知识结构，更应具有一定的职业技能水平。要落实《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》的精神，就要求高等职业院校在人才培养目标、知识技能结构、课程体系改革和教学内容等方面下功夫，逐步落实“教、学、做”一体化的教学模式改革，把提高学生职业技能的培养放在“教与学”的突出位置上。

“建筑力学与结构”是高等职业教育建筑工程技术、工程监理等专业的一门重要的专业基础课程，它以“高等数学”“建筑工程制图基础”“建筑识图与构造”“建筑材料”等课程为基础，并为其他后续专业课程的学习奠定基础。其教学任务是使学生了解必要的力学基础知识，掌握建筑结构的基本概念以及结构施工图的识读方法，能运用所学知识分析和解决建筑工程实践中较为简单的结构问题；同时培养学生严谨、科学的思维方式，以及认真、细致的工作方式。

为完成以上教学目标和任务，我们在本书的编写过程中，尝试以两套实际工程施工图作为任务引领，从调整教学内容入手，打破传统的学科体系，把力学和结构融在一起。本书以工程“实用”“够用”为度，同时适应建筑业相应工种职业资格的岗位要求，由建筑设计单位和施工企业参与本书编写的全过程，以工程实例为主线，通过实训、实习和现场教学，将对学生实践能力的培养贯穿于每个教学过程的始终。按照建筑企业实际的工作任务、工作过程和工作情境组织教学，从而形成围绕建筑图纸为工作过程的新型模式。各教学单位的不同专业在使用本书时，可根据教学内容选择不同的模块开展教学。

本书自第一版 2009 年 9 月问世以来，在广大读者的支持下，于 2013 年修订了第二版，已经先后印刷了 19 次，受到了读者的一致好评。

随着新一批国家工程建设标准规范的相继修订与实施，本书的修订工作也随后展开。经编者一年多时间的努力，终于完成了本次修订任务。本次修订在保持教材的原版特色、组织结构和内容体系不变的前提下，努力在教学内容、表现形式等方面有所充实和更新。修订的主要内容如下。



【资源索引】

(1) 本书所有内容依据现行新规范进行修订。依据是:《混凝土结构设计规范(2015年版)》(GB 50010—2010);《建筑抗震设计规范(2016年版)》(GB 50011—2010);《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011);《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(16G101)。同时根据行业发展情况,国家对装配式施工的大力推进,增加了模块12装配式混凝土结构简介。

(2) 为了便于教师直观教学和学生理解建筑力学与结构知识,本书通过部分三维图解和文字叙述,以图文并茂的方式讲解力学及结构构造等专业核心知识点。

针对课程特点,为了使学生更加直观地理解结构特点,也方便教师教学讲解,我们以"互联网+"教材的模式开发了与本书配套的手机APP客户端"巧课力"。读者可通过扫描封二中所附的二维码进行验证和使用。"巧课力"通过AR增强现实技术,将书中的一些结构图转化成可720°旋转,并可无限放大、缩小的三维模型。读者打开"巧课力"APP客户端之后,将手机摄像头对准"切口"带有色块和"互联网+"logo的页面,即可在手机上多角度、任意大小、交互式查看页面结构图所对应的三维模型。另外,书中通过二维码的形式链接了拓展学习资料和习题答案等内容,扫描书中的二维码,即可在课堂内外进行相应知识点的拓展学习,节约了搜集、整理学习资料的时间。作者也会根据行业发展情况,及时更新二维码所链接的资源,以便使书中内容与行业发展结合更为紧密。

本书推荐的学时数为90学时,各模块学时分配见下表(供参考)。

序次	模块1	模块2	模块3	模块4	模块5	模块6	模块7
学时数	4	8	10	6	12	10	8
序次	模块8	模块9	模块10	模块11	模块12	模块13	模块14
学时数	2	8	4	6	2	4	6

本书由河南建筑职业技术学院吴承霞、宋贵彩任主编;河南建筑职业技术学院魏玉琴,河南工业职业技术学院王焱,咸宁职业技术学院汪耀武,山东城市建设职业学院张毅任副主编;河南建筑职业技术学院孔惠、宋乔、李亚敏、尚瑞娟、王以贤、韩梅,以及郑州信息科技职业学院夏晋华参编。具体的编写分工如下:吴承霞编写模块1,夏晋华编写模块2,宋乔编写模块3,魏玉琴编写模块4,宋贵彩编写模块5、模块12,汪耀武、李亚敏编写模块6,孔惠编写模块7、模块8,张毅编写模块9,王以贤编写模块10,王焱编写模块11、模块13,尚瑞娟、韩梅编写模块14。两套图纸由河南东方建筑设计有限公司设计,王聚厚为工程负责人,建筑设计由尹军莉、李晓珺提供,结构设计由孔德帝、张宇翔提供。部分二维码资源由河南建筑职业技术学院柴伟杰老师提供。

由于编者水平有限,加之新规范和新图集的发布时间较短,编者对于新规范和新图集的学习和掌握还不够深入,书中尚有不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2017.12



目录



力学结构的概念



教学目标

通过本模块的学习，掌握建筑结构的组成，会对建筑结构进行分类；理解建筑结构的功能要求，掌握极限状态的概念；掌握两种极限状态，掌握建筑结构抗震的基本术语。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
掌握建筑结构的组成及分类	建筑结构按所用材料可分为混凝土结构、砌体结构，钢结构和木结构。建筑结构按受力和构造特点的不同可分为混合结构、框架结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构、筒体结构、大跨结构等	30%
理解建筑结构的功能要求	结构的功能要求是指结构的安全性、适用性和耐久性	10%
掌握极限状态的概念和分类	极限状态共分两类：承载能力极限状态和正常使用极限状态	20%
掌握建筑结构抗震的基本术语	地震的震级、烈度，抗震设防目标等	40%

学习重点

建筑结构的组成、功能要求，极限状态，抗震设防。

引例

一栋两层办公楼如图1.1(a)所示(实例一),一栋两层教学楼如图1.1(b)所示(实例二),如何保证两栋楼在正常使用时是安全的?两栋楼的结构形式有何不同?楼层的梁和板有何区别?板里有钢筋吗?如何放置?梁又如何设计?墙体用什么样的材料建造?基础怎样?两栋楼应如何考虑抗震?

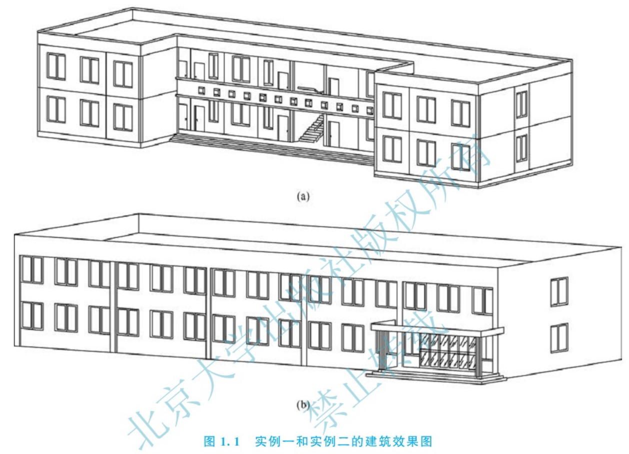


图1.1 实例一和实例二的建筑效果图

(a) 实例一:办公楼(砖混结构);(b) 实例二:教学楼(钢筋混凝土框架结构)

引例中的问题就牵涉该结构和构件受多大的内力,要靠结构知识去解决板、梁的设计和墙体计算,基础的大小等问题。

1.1 建筑力学与结构概述

建筑物在施工和使用过程中受到各种力的作用——结构自重、人及设备的质量、风、雪、地震等。这些力的作用形式怎样?大小是多少?对建筑物会产生什么样的效应?这些问题都要靠建筑力学和结构来解决。

1.1.1 建筑结构的概念和分类

建筑中，由若干构件(如板、梁、柱、墙、基础等)连接而构成的能承受荷载和其他间接作用(如温度变化、地基不均匀沉降等)的体系，称为建筑结构(图 1.2)。建筑结构在建筑中起骨架作用，是建筑的重要组成部分。

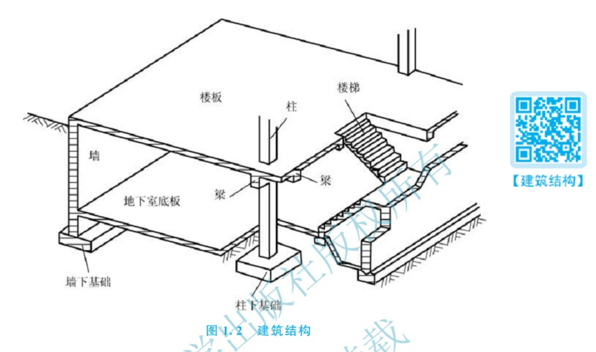


图 1.2 建筑结构

【建筑结构】

1. 按材料分类

根据所用材料的不同，建筑结构可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构。

1) 混凝土结构

混凝土结构可分为钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、素混凝土结构。其中应用最广泛的是钢筋混凝土结构(图 1.3)，它具有强度高、耐久性好、抗震性能好、可塑性强等优点；也有自重大、抗裂能力差、现浇时耗费模板多、工期长等缺点。



图 1.3 钢筋混凝土结构施工现场

混凝土结构在工业与民用建筑中应用极为普遍，如多层与高层住宅、写字楼、教学楼、医院、商场及公共设施等。

2) 砌体结构

砌体结构是指各种块材(包括砖、石材、砌块等)通过砂浆砌筑而成的结构(图 1.4)。砌体结构根据所用块材的不同，又可分为砖结构、石结构和其他材料的砌块结构。砌体结构的主要优点是能就地取材、造价低廉、耐火性强、工艺简单、施工方便，所以在建筑中应用广泛，主要用作七层以下的住宅楼、旅馆，五层以下的办公楼、教学楼等民用建筑的承重结构。其缺点是自重大、强度较低、抗震性能差。

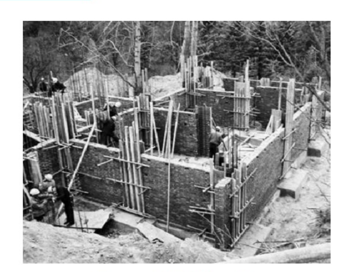


图 1.4　砌体结构施工现场

特别提示

传统的砌体结构房屋大多采用黏土砖建造，黏土砖的用量十分巨大，而生产黏土砖要毁坏农田，且污染环境。砌体结构材料应大力发展新型墙体材料，如蒸压粉煤灰砖、蒸压灰砂砖、混凝土砌块、混凝土多孔砖和实心砖等。

我国古代就用砌体结构建造城墙、佛塔、宫殿和拱桥。如闻名中外的万里长城、西安大雁塔等均为砌体结构建造(图 1.5)；隋代李春所设计和建造的河北赵县安济桥(又名赵州桥)迄今已有 1400 多年，桥净跨 37.02m，为世界上最早的单孔空腹式石拱桥(图 1.6)。

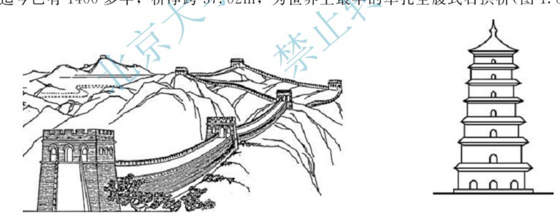


图 1.5　万里长城与大雁塔

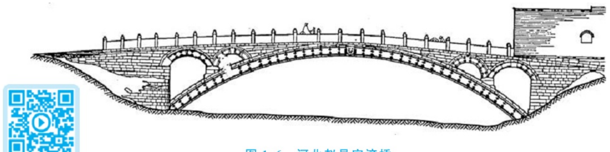


图 1.6　河北赵县安济桥

【经典建筑】

3）钢结构

用钢材制作的结构称为钢结构。钢结构具有强度高、自重轻、材质均匀、制作简单、运输方便等优点；但也存在易锈蚀、耐火性差、维修费用高等缺点。而且，钢材是国民经济各部门中不可缺少的重要材料，使用量大，价格比较昂贵，因此，钢结构在基本建设中主要用于大跨度屋盖(如体育场馆)、高层建筑、重型工业厂房、承受动力荷载的结构及塔桅结构中。

典型的钢结构建筑有：泸定桥(1705 年建造，图 1.7)，鸟巢(2008 年建成，图 1.8)，上海东方明珠塔(1994 年建成，高 468m，图 1.9)，上海金茂大厦(1997 年建成，420m 高，图 1.10)。



图 1.7　大渡河铁索桥——泸定桥

图 1.8　2008 年北京奥运会国家体育场——鸟巢



图 1.9　上海东方明珠塔



图 1.10　上海金茂大厦

4）木结构

以木材为主制作的结构称为木结构。木结构以梁、柱组成的构架承重，墙体则主要起填充、防护作用。木结构的优点是能就地取材、制作简单、造价较低、便于施工；缺点是木材本身疵病较多、易燃、易腐、结构易变形，因此不宜用于火灾危险性较大或经常受潮又不易通风的生产性建筑中。



【木结构建筑】

木结构是我国最早应用的建筑结构，直到现代还应用于古典园林建筑。北京故宫(图 1.11)充分反映了我国古代木结构的高超水平。但由于木材用途广泛，其产量又受到自然条件的限制，在建筑中已越来越少采用木结构。

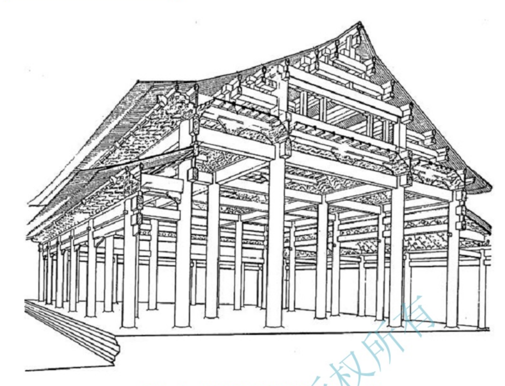


图 1.11　北京故宫太和殿梁架结构示意

2. 按受力分类

建筑结构按受力和构造特点的不同可分为混合结构、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构、大跨结构等。其中大跨结构多采用网架结构、薄壳结构、膜结构及悬索结构。

1） 混合结构

混合结构是指由砌体结构构件和其他材料构件组成的结构。如垂直承重构件用砖墙、砖柱，而水平承重构件用钢筋混凝土梁板(图 1.12)，这种结构就为混合结构，也称承重墙结构。该种结构形式具有就地取材、施工方便、造价低等特点。

2） 框架结构

框架结构是由纵梁、横梁和柱组成的结构，这种结构是梁和柱刚性连接而形成骨架的结构(图 1.13)。框架结构的优点是强度高、自重轻、整体性和抗震性能好。框架结构多采用钢筋混凝土建造，一般适用于 10 层以下及 10 层左右的房屋结构。框架结构建筑平面布置灵活，可满足生产工艺和使用要求，且比混合结构强度高、延性好、整体性好、抗震性能好。

3） 剪力墙结构

剪力墙结构是由纵向、横向的钢筋混凝土墙所组成的结构(图 1.14)。墙体除抵抗水平荷载和竖向荷载外，还为整个房屋提供很大的抗剪强度和刚度，对房屋起围护和分割作用。这种结构的侧向刚度大，适宜做较高的高层建筑，但由于剪力墙位置的约束，建筑内部空间的划分比较狭小，不利于形成开敞性的空间，因此较适宜用于宾馆与住宅。剪力墙结构常用于 25～30 层的房屋。

4） 框架-剪力墙结构

框架-剪力墙结构又称框剪结构，它是在框架纵、横方向的适当位置，在柱与柱之间设置几道钢筋混凝土墙体(剪力墙)(图 1.15)的结构。在这种结构中，框架与剪力墙协同受

力，剪力墙承担绝大部分水平荷载，框架则以承担竖向荷载为主。这种体系一般用于办公楼、旅馆、住宅及某些工艺用房，一般用于25层以下的房屋结构。

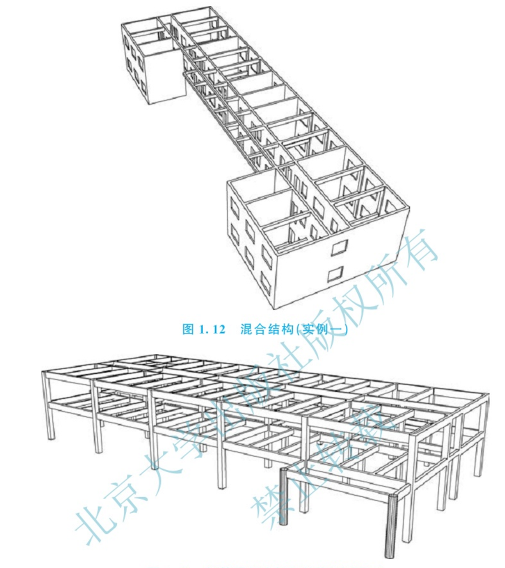


图1.12 混合结构(实例一)

图1.13 钢筋混凝土框架结构(实例二)

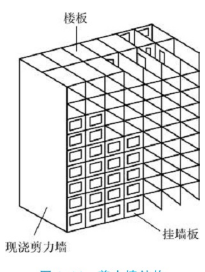


图1.14 剪力墙结构

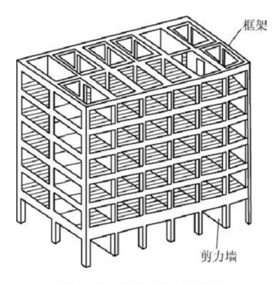


图1.15 框架-剪力墙结构

如果将剪力墙布置成筒体，框架-剪力墙结构又可称为框架-筒体结构体系。筒体的承载能力、侧向刚度和抗扭能力都较单片剪力墙大大提高。在结构上，这是提高材料利用率的一种途径；在建筑布置上，则往往利用筒体做电梯间、楼梯间和竖向管道的通道，这也是十分合理的。

5）筒体结构

筒体结构是用钢筋混凝土墙围成侧向刚度很大的筒体的结构形式。筒体在侧向风荷载的作用下，受力特点类似于一个固定在基础上的筒形的悬臂构件，迎风面将受拉，而背风面将受压。筒体可以为剪力墙，可以采用密柱框架，也可以根据实际需要采用数量不同的筒体。筒体结构多用于高层或超高层公共建筑中(图 1.16)。

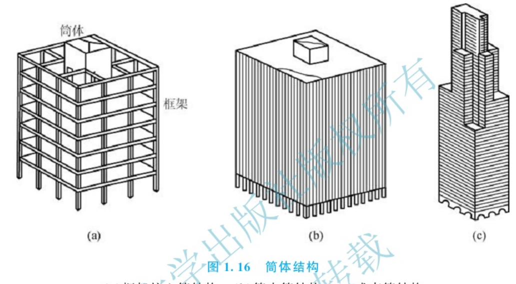


图 1.16　筒体结构

(a)框架核心筒结构；(b)筒中筒结构；(c)成束筒结构

筒体结构用于 30 层以上的超高层房屋结构，经济高度以不超过 80 层为限。

特别提示

（1）从造价的角度来讲：砌体结构最为经济，混凝土结构次之，钢结构最贵。

（2）从抗震的角度来讲：砌体结构最差，混凝土结构次之，钢结构最好。

（3）实际工程中，建造房屋的用途、层数及当地经济发展状况等决定了采用何种结构形式。随着城市土地资源的稀缺，多层建筑(即砌体结构)应用越来越少；混凝土结构和钢结构应用越来越多。

1.1.2　建筑结构的功能

1. 结构的功能要求

不管采用何种结构形式，也不管采用什么材料建造，任何一种建筑结构都是为了满足所要求的功能而设计的。建筑结构在规定的设计使用年限内，应满足下列功能要求。

（1）安全性，即结构在正常施工和正常使用时能承受可能出现的各种作用，在设计规定的偶然事件发生时及发生后，仍能保持必需的整体稳定。

（2）适用性，即结构在正常使用条件下具有良好的工作性能。如不发生过大的变形或振幅，以免影响使用，也不发生足以令用户不安的裂缝。

（3）耐久性，即结构在正常维护下具有足够的耐久性能。如混凝土不发生严重的风化、脱落，钢筋不发生严重锈蚀，以免影响结构的使用寿命。

2. 结构的可靠性

结构的可靠性是这样定义的：结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的能力。结构的安全性、适用性和耐久性总称为结构的可靠性。

结构可靠度是可靠性的定量指标，可靠度的定义是：结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率。

3. 极限状态的概念

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求，此特定状态为该功能的极限状态。极限状态实质上是一种界限，是有效状态和失效状态的分界。极限状态共分两类。

（1）承载能力极限状态(图 1.17)：结构或结构构件达到最大承载力、出现疲劳破坏或不适于继续承载的变形，或结构的连续倒塌。当结构或构件出现下列状态之一时，即认为超过了承载能力极限状态。

① 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡(如阳台、雨篷的倾覆)等。

② 结构构件或连接因超过材料强度而破坏(包括疲劳破坏)，或因过度变形而不适于继续承载。

③ 结构转变为机动体系(如构件发生三角共线而形成体系机动丧失承载力)。

④ 结构或结构构件丧失稳定(如长细杆的压屈失稳破坏等)。

⑤ 地基丧失承载能力而破坏(如失稳等)。

⑥ 结构因局部破坏而发生连续倒塌。

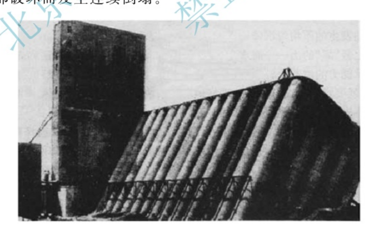


图 1.17 承载能力极限状态

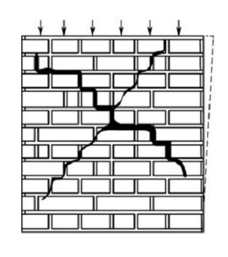
（2）正常使用极限状态(图 1.18)：结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。当结构或构件出现下列状态之一时，即认为超过了正常使用极限状态。

① 影响正常使用或外观的变形(如过大的变形使房屋内部粉刷层脱落、填充墙开裂)。

② 影响正常使用或耐久性能的局部损坏(如水池、油罐开裂引起渗漏，裂缝过宽导致钢筋锈蚀)。

③ 影响正常使用的振动。

④ 影响正常使用的其他特定状态(如沉降量过大等)。



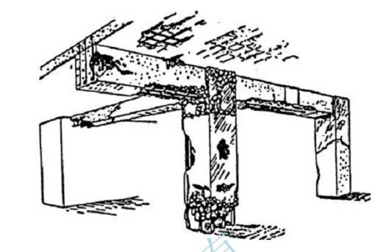


图 1.18　正常使用极限状态

由上述两类极限状态可以看出，结构或构件一旦超过承载能力极限状态，就可能发生严重破坏、倒塌，造成人身伤亡和重大经济损失。因此，应该将出现这种极限状态的概率控制得非常严格。而结构或构件出现正常使用极限状态的危险性和损失要小得多，其极限状态的出现概率可适当放宽。所以，结构设计时承载能力极限状态的可靠度水平应高于正常使用极限状态的可靠度水平。

特别提示

(1) 承载能力极限状态是保证结构安全性的，而正常使用极限状态是保证结构适用性和耐久性的。

(2) 结构设计年限分为以下四类。

一类 (临时性建筑)：设计使用年限 5 年。

二类 (易于替换的结构构件)：设计使用年限 25 年。

三类 (普通房屋)：设计使用年限 50 年。

四类 (纪念性和特别重要的建筑)：设计使用年限 100 年。

4. 结构极限状态方程

结构和结构构件的工作状态可以由该结构构件所承受的荷载效应 S 和结构抗力 R 两者的关系来描述，即

$$Z=R-S$$

上式称为结构的功能函数，用来表示结构的三种工作状态。

(1) 当 $Z>0$(即 $R>S$)时，结构处于可靠状态。

(2) 当 $Z=0$(即 $R=S$)时，结构处于极限状态。

(3) 当 $Z<0$(即 $R<S$)时，结构处于失效状态。

特别提示

(1) 荷载效应 S 与施加在结构上的外荷载有关，其计算方法见模块5。
(2) 要保证结构可靠，所有的结构计算要满足 $S \leqslant R$。

1.1.3 建筑结构的发展概况趋势

1. 墙体材料改革

墙体材料总的发展趋势是走节能、节土、低污染、轻质、高强度、配套化、易于施工、劳动强度低的发展道路。国外墙体材料的发展遵循保护环境、节约能源、合理利用资源、发展绿色产品的原则，主要产品有灰砂砖、灰砂型加气混凝土砌块和板材、混凝土砌块、石膏砌块、复合轻质板材、烧结制品等。我国墙体材料的发展趋势如下。

(1) 以黏土为原料的产品大幅度减少，向空心化和装饰化方向发展；石膏制品以纸面石膏板为主，增长迅速；建筑砌块持续增长，并向系统化方向发展，产品以混凝土砌块为主且向空心化发展，装饰砌块和多功能、易施工的砌块也将得到发展；质量轻、强度高、保温性能好的功能性复合墙板将迅速发展。

(2) 发展满足建筑功能要求、保温隔热性能优良、轻质高强、便于机构化施工的各类内外墙板；发展承重混凝土小型空心砌块和承重利废空心砖，非承重墙体材料应以利废的各类非承重砌块和轻板为主；发展承重的空心砖和混凝土小型空心砌块。

(3) 充分利用废弃物生产建筑材料，使粉煤灰、煤矸石等工业废渣、建筑垃圾和生活垃圾等废弃物得到有效利用；实现产品的规范化、标准化、模数化，使多功能复合型的新型墙体材料产品得到快速发展。

(4) 开发各种新的制砖技术，如垃圾砖生产技术、蒸压粉煤灰砖生产技术、烧结粉煤灰砖生产技术、泡沫砖生产技术等。建筑砌块向多品种、大规模、自动化方向发展。

(5) 新型墙材的革新着重于建筑节能的推广。

2. 混凝土结构发展

混凝土结构的发展方向：高强和高性能混凝土的应用；发展轻集料混凝土，如浮石混凝土、陶粒混凝土、纤维混凝土、钢-混凝土混合结构的应用；预应力混凝土的应用等。

3. 装配式结构的推广

装配式混凝土结构是我国建筑结构发展的重要方向之一，它有利于我国建筑工业的发展、提高生产效率节约能源、发展绿色环保建筑，并且有利于提高和保证建筑工程质量。与现浇施工工法相比，装配式混凝土结构有利于绿色施工，因为装配式施工更符合绿色施工节地、节能、节材、节水和环境保护的要求，降低对环境的负面影响，包括降低噪声、防止扬尘，减少环境污染，清洁运输，减少场地干扰，节约水、电、材料等资源和能源，遵循可持续发展的原则。而且，装配式结构可以连续地按顺序完成工程的多个或全部工序，从而减少进场的工程机械种类和数量，消除工序衔接的停闲时间，实现立体交叉作业，减少施工人员，从而提高工效、降低物料消耗、减少环境污染，为绿色施工提供保

障。另外，装配式结构在较大程度上减少了建筑垃圾（占城市垃圾总量的30%～40%)，如废钢筋、废铁丝、废竹木材、废弃混凝土等。

1.2 结构抗震知识

引例

北京时间2008年5月12日，我国四川省发生了里氏8.0级的特大地震。震中位于四川省汶川县的映秀镇(东经103.4°，北纬31.0°)，震源深度33km，震中烈度达11度，破坏特别严重的地区超过10万平方千米。地震造成了特别重大灾害，给人民的生活和财产造成了巨大损失。

那么地震是什么？上述名词又有何解释？房屋如何抗震？

1.2.1 地震的基本概念

地震是一种突发性的自然灾害，其作用结果是引起地面的颠簸和摇晃。由于我国地处两大地震带(环太平洋地震带及地中海-南亚地震带)的交汇区，且东部台湾地区及西部青藏高原直接位于两大地震带上，因此，我国地震区分布广、发震频繁，是一个多地震国家。



【地震介绍】

地震发生的地方称为震源；震源正上方的位置称为震中；震中附近地面振动最厉害，也是破坏最严重的地区，称为震中区或极震区；地面某处至震中的距离称为震中距；地震时地面上破坏程度相近的点连成的线称为等震线；震源至地面的垂直距离称为震源深度(图1.19)。

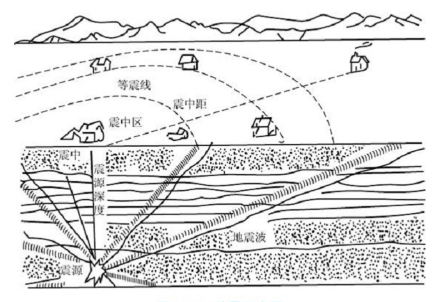


图1.19 地震示意图

依其成因，地震可分为三种主要类型：火山地震、塌陷地震和构造地震。根据震源深度不同，又可将构造地震分为三种：浅源地震——震源深度不大于60km；中源地震——震源深度为60～300km；深源地震——震源深度大于300km。

地震引起的振动以波的形式从震源向各个方向传播，它使地面发生剧烈的运动，从而使房屋产生上下跳动及水平晃动。当结构经受不住这种剧烈的颠晃时，就会产生破坏甚至倒塌。

1. 地震的震级

衡量地震大小的等级称为震级，它表示一次地震释放能量的多少，一次地震只有一个震级。地震的震级用 M 表示。

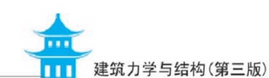
一般来说，震级小于里氏2级的地震，人们感觉不到，称为微震；里氏2～4级的地震称为有感地震；里氏5级以上的地震称为破坏地震，会对建筑物造成不同程度的破坏；里氏7～8级地震称为强烈地震或大地震；超过里氏8级的地震称为特大地震。到目前为止，世界最大的地震是1960年发生在智利的里氏9.5级地震，1976年我国河北唐山发生的地震为里氏7.8级，2008年5月12日四川汶川发生的地震为里氏8级。

2. 地震烈度

地震烈度是指某一地区地面和建筑物遭受一次地震影响的强烈程度。地震烈度不仅与震级大小有关，而且与震源深度、震中距、地质条件等因素有关。一次地震只有一个震级，然而同一次地震却有好多个烈度区。一般来说，离震中越近，烈度越高。我国地震烈度采用十二度划分法，见表1-1。

表1-1 中国地震烈度表

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象
		类型	震害程度	平均震害指数	
Ⅰ	无感	—	—	—	—
Ⅱ	室内个别静止中人有感觉	—	—	—	—
Ⅲ	室内少数静止中人有感觉	—	门、窗轻微作响	—	悬挂物微动
Ⅳ	室内多数人、室外少数人有感觉，少数人梦中惊醒	—	门、窗作响	—	悬挂物明显摆动，器皿作响
Ⅴ	室内绝大多数、室外多数人有感觉，多数人梦中惊醒	—	门窗、屋顶、屋架颤动作响，灰土掉落，个别房屋抹灰出现细微细裂缝，个别有檐瓦掉落，个别屋顶烟囱掉砖	—	悬挂物大幅度晃动，不稳定器物摇动或翻倒



（续）

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象
		类型	震害程度	平均震害指数	
Ⅵ	多数人站立不稳，少数人惊逃至户外	A	少数中等破坏，多数轻微破坏和/或基本完好	0.00～0.11	家具和物品移动；河岸和松软土出现裂缝，饱和砂层出现喷砂冒水；个别独立砖烟囱轻度裂缝
		B	个别中等破坏，少数轻微破坏，多数基本完好		
		C	个别轻微破坏，大多数基本完好	0.00～0.08	
Ⅶ	大多数人惊逃至户外，骑自行车的人有感觉，行驶中的汽车驾乘人员有感觉	A	少数毁坏和/或严重破坏，多数中等和/或轻微破坏	0.09～0.31	物体从架子上掉落；河岸出现塌方，饱和砂层常见喷水冒砂，松软土地上地裂缝较多；大多数独立砖烟囱中等破坏
		B	少数毁坏，多数严重和/或中等破坏		
		C	个别毁坏，少数严重破坏，多数中等和/或轻微破坏	0.07～0.22	
Ⅷ	多数人摇晃颠簸，行走困难	A	少数毁坏，多数严重和/或中等破坏	0.29～0.51	干硬土上出现裂缝，饱和砂层绝大多数喷砂冒水；大多数独立砖烟囱严重破坏
		B	个别毁坏，少数严重破坏，多数中等和/或轻微破坏		
		C	少数严重和/或中等破坏，多数轻微破坏	0.20～0.40	
Ⅸ	行动中的人摔倒	A	多数严重破坏或/和毁坏	0.49～0.71	干硬土上多处出现裂缝，可见基岩裂缝、错动，滑坡、塌方常见；独立砖烟囱多数倒塌
		B	少数毁坏，多数严重和/或中等破坏		
		C	少数毁坏和/或严重破坏，多数中等和/或轻微破坏	0.38～0.60	
Ⅹ	骑自行车的人会摔倒，处于不稳状态的人会摔离原地，有抛起感	A	绝大多数毁坏	0.69～0.91	山崩和地震断裂出现；基岩上拱桥破坏；大多数独立砖烟囱从根部破坏或倒毁
		B	大多数毁坏		
		C	多数毁坏和/或严重破坏	0.58～0.80	

（续）

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象
		类型	震害程度	平均震害指数	
Ⅺ	—	A	绝大多数毁坏	0.89～1.00	地震断裂延续很大，大量山崩滑坡
		B			
		C		0.78～1.00	
Ⅻ	—	A	—	1.00	地面剧烈变化，山河改观
		B			
		C			

注：表中的数量词：“个别”为10%以下；“少数”为10%～45%；“多数”为40%～70%；“大多数”为60%～90%；“绝大多数”为80%以上。

3. 抗震设防烈度

抗震设防烈度是按国家批准权限审定，作为一个地区抗震设防依据的地震烈度。《建筑抗震设计规范(2016年版)》(GB 50011—2010）给出了全国主要城镇抗震设防烈度。表1-2给出了全国主要城市抗震设防烈度。



【全国抗震设防烈度】

表1-2 全国主要城市抗震设防烈度

烈度	城市名
6度	重庆、哈尔滨、杭州、南昌、济南、武汉、长沙、南宁、贵阳、青岛
7度(0.1g)	上海、石家庄、沈阳、长春、南京、合肥、福州、广州、成都、西宁、澳门、大连、深圳、珠海
7度(0.15g)	天津、厦门、郑州、香港
8度(0.2g)	北京、太原、呼和浩特、昆明、拉萨、西安、兰州、银川、乌鲁木齐
8度(0.3g)	海口、台北

注：括号内数字是设计基本地震加速度值。

抗震设防烈度为6度及以上地区的建筑，必须进行抗震设计。抗震设防烈度大于9度地区的建筑和行业有特殊要求的工业建筑，其抗震设计应按有关专门规定执行，即我国抗震设防的范围为地震烈度为6～9度地震区。

特别提示

(1）我国抗震设防烈度为6～9度，6～9度必须进行抗震计算和构造设计。

(2）震级和烈度是两个概念，新闻报道的都是震级，烈度仅对地面和房屋的破坏程度而言。

(3）对于一次地震，只能有一个震级，而可以有多个烈度。一般来说离震中越远，地震烈度越小，震中区的地震烈度最大，并称为“震中烈度”。我国地震烈度分为1～12度。



4. 抗震设防的一般目标

抗震设防是指对建筑物进行抗震设计并采取抗震构造措施，以达到抗震的效果。抗震设防的依据是抗震设防烈度。《建筑抗震设计规范》提出了“三水准两阶段”的抗震设防目标。

(1) 第一水准——小震不坏：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，一般不受损坏或不需修理可继续使用。

(2) 第二水准——中震可修：当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震影响时，可能损坏，经一般修理或不需修理仍可继续使用。

(3) 第三水准——大震不倒：当遭受高于本地区抗震设防烈度预估的罕遇地震影响时，建筑物不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

“两阶段”指弹性阶段的承载力计算和弹塑性阶段的变形验算。

1.2.2 地震的破坏作用

1. 地表的破坏现象

在强烈地震作用下，地表的破坏现象为地裂缝(图 1.20)、喷砂冒水、地面下沉及河岸、陡坡滑坡。

2. 建筑物的破坏现象

(1) 结构丧失整体性：房屋建筑或构筑物是由许多构件组成的，在强烈地震作用下，构件连接不牢、支撑长度不够和支撑失稳等都会使结构丧失整体性而破坏(图 1.21)。





图 1.20 地震产生的地裂缝



图 1.21 地震产生的房屋破坏现象

(2) 强度破坏：对于未考虑抗震设防或设防不足的结构，在具有多向性的地震力作用下，会使构件因强度不足而破坏。如地震时砖墙产生交叉斜裂缝、钢筋混凝土柱被剪断、压酥等(图 1.22)。

(3) 地基失效：在强烈地震作用下，地基承载力可能下降甚至丧失，也可能由于地基饱和砂层液化而造成建筑物沉陷、倾斜或倒塌。




图 1.22　地震时砖墙产生交叉斜裂缝、钢筋混凝土柱被压酥现象

3. 次生灾害

次生灾害是指地震时给排水管网、煤气管道、供电线路的破坏，以及易燃、易爆、有毒物质、核物质容器的破裂，堰塞湖等造成的水灾、火灾、污染、瘟疫等严重灾害。这些次生灾害有时比地震造成的直接损失还大。

2011 年 3 月 11 日，日本当地时间 14 时 46 分，日本东北部海域发生里氏 9.0 级地震并引发海啸，造成重大人员伤亡和财产损失。地震引发的海啸影响到太平洋沿岸的大部分地区。地震造成日本福岛第一核电站 1～4 号机组发生核泄漏事故。

1.2.3 建筑抗震设防分类和设防标准

在进行建筑设计时，应根据建筑的重要性不同，采取不同的抗震设防标准。《建筑工程抗震设防分类标准》将建筑按其使用功能的重要程度不同，分为以下四类(表 1－3)。


【建筑抗震设防分类及标准】

表 1－3　抗震设防标准分类

分　类	定　义	抗震设防标准
(1) 甲类 (特殊设防类)	指使用上有特殊设施，涉及国家公共安全的重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害等特别重大灾害后果，需要进行特殊设防的建筑。如三级医院中承担特别重要医疗任务的门诊、住院用房；承担研究、中试和存放剧毒的高危险传染病病毒任务的疾病预防与控制中心的建筑或其区段；国家和区域的电力调度中心；国际出入口局、国际无线电台、国家卫星通信地球站、国际海缆登陆站等	应按高于本地区抗震设防烈度提高一度的要求加强其抗震措施；但抗震设防烈度为 9 度时，应按比 9 度更高的要求采取抗震措施
(2) 乙类 (重点设防类)	指地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的生命线相关建筑，以及地震时可能导致大量人员伤亡等重大灾害后果，需要提高设防标准的建筑。如县级市及以上的疾病预防与控制中心的主要建筑；作为应急避难场所的建筑；消防车库及其值班用房；特大型的体育场；大型的电影院、剧场、礼堂、图书馆的视听室和报告厅、文化馆的观演厅和展览厅、娱乐中心建筑；人流密集的大型多层商场；大型博物馆、大型展览馆、会展中心等；幼儿园、小学、中学的教学用房，以及学生宿舍和食堂	应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施；但抗震设防烈度为 9 度时，应按比 9 度更高的要求采取抗震措施

（续）

分　　类	定　　义	抗震设防标准
(3) 丙类 (标准设防类)	指大量的除(1)、(2)、(4)条以外按标准要求进行设防的建筑。如居住建筑的抗震设防类别不应低于标准设防类	应按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施和地震作用，达到在遭遇高于当地抗震设防烈度的预估罕遇地震影响时，不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏的抗震设防目标
(4) 丁类 (适度设防类)	指使用上人员稀少且震损不致产生次生灾害，允许在一定条件下适度降低要求的建筑。如一般的储存物品的价值低、人员活动少、无次生灾害的单层仓库等	允许比本地区抗震设防烈度的要求适当降低其抗震措施，但抗震设防烈度为6度时不应降低。一般情况下，仍应按本地区抗震设防烈度确定其地震作用

1.2.4 抗震设计的基本要求

为了减轻建筑物的地震破坏、避免人员伤亡、减少经济损失，必须对地震区的房屋进行抗震设计。建筑结构的抗震设计分为两大部分：一是计算设计——对地震作用效应进行定量分析计算；二是概念设计——正确地解决总体方案、材料使用和细部构造，以达到合理抗震设计的目的。根据概念设计的原理，在进行抗震设计、施工及材料选择时，应遵守下列要求。

1. 选择对抗震有利的场地和地基

确定建筑场地时，应选择有利地段，避开不利地段。对危险地段，严禁建造甲、乙类建筑，不应建造丙类建筑。图1.23所示为没有选择有利地段的后果。



图1.23　某县因山体崩塌产生巨大滚石，造成了建筑的破坏

地基和基础设计应符合下列要求：同一结构单元的基础不宜设置在性质截然不同的地基上；同一结构单元不宜部分采用天然地基，部分采用桩基。

2. 选择对抗震有利的建筑体型

建筑设计应符合抗震概念设计的要求，不规则的建筑方案应按规定采取加强措施；特别不规则的建筑方案应进行专门研究和论证，采取特别的加强措施。不应采用严重不规则的设计方案。建筑平面和立面布置宜规则、对称，其刚度和质量分布宜均匀。体型复杂的建筑宜设防震缝。

3. 选择合理的抗震结构体系

结构体系应根据建筑的抗震设防类别、抗震设防烈度、建筑高度、场地条件、地基、结构材料和施工等因素，经综合分析比较确定。结构体系应具有多道抗震防线，对可能出现的薄弱部位，应采取措施提高抗震能力。

4. 结构构件应有利于抗震

结构构件应符合下列要求：砌体结构应按规定设置钢筋混凝土圈梁和构造柱、芯柱，或采用约束砌体、配筋砌体等；混凝土结构构件应控制截面尺寸和受力钢筋与箍筋的设置；钢结构构件应避免局部失稳或整个构件失稳；多高层的混凝土楼、屋盖宜优先采用现浇混凝土板。当采用混凝土预制装配式楼、屋盖时，应从楼盖体系和构造上采取措施确保各预制板之间连接的整体性。

5. 处理好非结构构件

非结构构件包括建筑非结构构件(如女儿墙、围护墙、隔墙、幕墙、装饰贴面等)和建筑附属机电设备。附着于楼、屋面结构上的非结构构件以及楼梯间的非承重墙体，应与主体结构有可靠的连接或锚固，避免地震时倒塌伤人或砸坏重要设备；围护墙和隔墙应考虑对结构抗震的不利影响，避免不合理设置而导致主体结构的破坏；幕墙、装饰贴面与主体结构应有可靠的连接，避免地震时脱落伤人；安装在建筑物上的附属机械、电气设备系统的支座和连接应符合地震时使用功能的要求，且不应导致相关部件的损坏。图 1.24 所示的小塔楼遭破坏，就是因为非结构构件设置得不合理。



图 1.24　混凝土结构出屋面小塔楼破坏状况

6. 采用隔震和消能减震设计

隔震和消能减震是建筑结构减轻地震灾害的新技术。隔震装置设置部位如图 1.25 所示。


【隔震】

隔震的基本原理是：通过隔震层的大变形来减少其上部结构的地震作用，从而减少地震破坏。隔震设计主要解决的问题是隔震层的位置、隔震垫的布置及隔震支座的受力计算。

消能减震的基本原理是：通过消能器的设置来控制预期的结构变形，从而使主体结构在罕遇地震下不发生严重破坏。消能减震设计主要解决的问题是消能器及消能部件的选型、布置，以及与主体结构的连接及计算。

目前，隔震和消能减震设计主要应用于使用功能有特殊要求的建筑及抗震设防烈度为8度、9度的建筑。

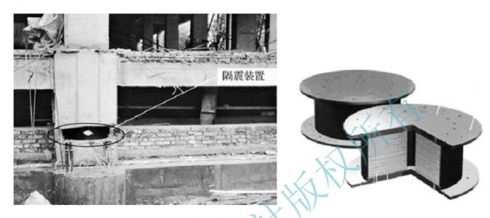


图 1.25　隔震装置

7. 合理选用材料

结构材料性能指标应符合下列最低要求。

(1) 砌体结构材料应符合下列规定：普通砖和多孔砖的强度等级不应低于 MU10，其砌筑砂浆强度等级不应低于 M5；混凝土小型空心砌块的强度等级不应低于 MU7.5，其砌筑砂浆强度等级不应低于 M7.5。

(2) 混凝土结构材料应符合下列规定：框支梁、框支柱，以及抗震等级为一级的框架梁、柱、节点核心区的混凝土，其强度等级不应低于 C30；构造柱、芯柱、圈梁及其他各类构件的混凝土强度等级不应低于 C20。同时，对于混凝土结构中的混凝土强度等级，抗震墙不宜超过 C60，其他构件，9 度时不宜超过 C60，8 度时不宜超过 C70。

(3) 钢结构的钢材应符合下列规定：钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率应大于20%；钢材应有良好的焊接性和合格的冲击韧性。

(4) 普通钢筋宜优先采用延性、韧性和可焊性较好的钢筋；纵向受力钢筋宜选用符合抗震性能指标不低于 HRB400 级的热轧钢筋，也可采用符合抗震性能指标的 HRB335 级热轧钢筋；箍筋宜选用符合抗震性能指标的不低于 HRB335 级的热轧钢筋，也可选用 HPB300 级热轧钢筋。

8. 保证施工质量

(1) 在施工中，当需要以强度等级较高的钢筋代替原设计中的纵向受力钢筋时，应按照钢筋受拉承载力设计值相等的原则换算，并应满足最小配筋率要求。

(2) 钢筋混凝土构造柱和底部框架-抗震墙房屋中的砌体抗震墙，其施工应先砌墙，后浇混凝土构造柱和框架梁柱。

特别提示

（1）砌体：块材的强度等级用符号 MU××表示；砂浆的强度等级用符号 M××表示。

（2）混凝土的强度等级用符号 C××表示。后面数值越大，其强度等级越高。

（3）钢筋的级别：HRB500——Ⅳ级钢；HRB400——Ⅲ级钢；HRB335——Ⅱ级钢；HPB300——Ⅰ级钢。

1.3 课程教学任务、目标和课程特点

1.3.1 教学任务

本课程的教学任务是使学生了解必要的力学基础知识，掌握建筑结构的基本概念以及结构施工图的识读方法，能运用所学知识分析和解决建筑工程实践中较为简单的结构问题；培养学生的力学素质，为学习其他课程提供必要的基础；同时培养学生严谨、科学的思维方式，以及认真、细致的工作态度。

建筑力学与结构，其内容在实际工程中是较为复杂的。它是在建筑施工图的基础上，通过结构方案布置、构件和结构受力分析、荷载计算、内力分析、材料选择、构造措施等，作出结构施工图和结构计算书。因此，学好这门重要的专业基础课程是正确理解和贯彻设计意图、确定建筑及施工方案，组织施工、处理建筑施工中的结构问题、防止发生工程事故，以及保证工程质量所必须具备的知识。

本课程讲授时，建议多结合当地实际，进行多媒体教学、参观建筑工地等活动环节。

1.3.2 教学目标

本课程教学时数约 90 学时，通过一学期的学习，学生需达到以下目标。

1. 知识目标

学生应领会必要的力学概念，了解建筑结构材料的主要力学性能，掌握建筑结构基本构件的受力特点，掌握简单结构构件的设计方法，了解建筑结构抗震基本知识，掌握建筑结构施工图的识读方法。

2. 能力目标

学生应具有对简单结构进行结构分析和绘制内力图的能力；具有正确选用各种常用结构材料的能力；具有熟练识读结构施工图和绘制简单结构施工图的能力；理解钢筋混凝土基本构件承载力的计算思路；熟悉钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构以及建筑物基础的主要构造，能理解建筑工程中出现的一般结构问题。

3. 思想素质目标

培养学生从事职业活动所需要的工作方法和学习方法，养成科学的思维习惯；培养勤奋向上、严谨求实的工作态度；具有自学和拓展知识、接受终身教育的基本能力。

1.3.3 课程特点

(1) 本课程内容较多，公式多、符号多，不能死记硬背，要结合图纸、结合实际去理解，在理解的基础上逐步记忆。

(2) 注意学习我国现行工程建设标准和规范：《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50153—2008)、《混凝土结构设计规范(2015 年版)》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《建筑抗震设计规范(2016 年版)》(GB 50011—2010)、《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)及国家建筑标准设计图集《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(16G101)。国家规范和标准是建筑工程设计、施工的依据，必须熟悉并正确应用。

(3) 本书的内容围绕两套图纸展开，因此必须先看懂图纸，同时结合当地的实际工程，学有所用。

(4) 本课程与“建筑材料”“建筑识图与房屋构造”“建筑施工技术”等课程有密切关系，要学好本课程必须要努力学好上述几门课程。

小　结

(1) 结构的功能要求。在正常使用和施工时，能承受可能出现的各种作用；在正常使用时具有良好的工作性能；在正常维护下具有足够的耐久性能；在设计规定的偶然事件发生时及发生后，仍能保持必需的整体稳定性。概括起来就是安全性、适用性、耐久性，统称可靠性。

(2) 结构的极限状态。结构的极限状态是指整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求，此特定状态就称为结构的极限状态。极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。承载能力极限状态是指结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形；一旦超过此状态，就可能发生严重后果。正常使用极限状态是指结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限制，控制略宽。

(3) 我国抗震设防是“三水准两阶段”原则。“三水准”是指小震不坏，中震可修，大震不倒。“两阶段”指弹性阶段的承载力计算和弹塑性阶段的变形验算。

(4) 抗震概念设计的要求。选择对抗震有利的场地和地基；选择对抗震有利的建筑体型；选择合理的抗震结构体系；结构构件应有利于抗震；处理好非结构构件；采用隔震和消能减震设计；合理选用材料；保证施工质量；等等。

习　题

一、填空题

1. 房屋建筑中能承受荷载作用，起骨架作用的体系称为＿＿＿＿＿＿＿＿＿。

2. 建筑结构按受力和构造特点不同可分为＿＿＿＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿＿＿＿。

3. 建筑结构按作用的材料不同分为＿＿＿＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿＿＿＿。

4. 框架结构的主要承重体系由＿＿＿＿＿＿＿＿＿和＿＿＿＿＿＿＿＿＿组成。

5. 结构的＿＿＿＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿＿＿＿和＿＿＿＿＿＿＿＿＿统称为结构的可靠性。

6. 结构或构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形的极限状态称为＿＿＿＿＿＿＿＿＿。

7. 结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值的极限状态称为＿＿＿＿＿＿＿＿＿。

8. 根据结构的功能要求，极限状态可划分为＿＿＿＿＿＿＿＿＿和＿＿＿＿＿＿＿＿＿。

二、选择题

1. 当结构或结构的一部分作为刚体失去了平衡状态，就认为超出了(　　)。

A. 承载能力极限状态　　B. 正常使用极限状态

C. 刚度　　D. 柔度

2. 下列几种状态中，不属于超过承载力极限状态的是(　　)。

A. 结构转变为机动体系　　B. 结构丧失稳定

C. 地基丧失承载力而破坏　　D. 结构产生影响外观的变形

3. 结构的可靠性是指(　　)。

A. 安全性、耐久性、稳定性　　B. 安全性、适用性、稳定性

C. 适用性、耐久性、稳定性　　D. 安全性、适用性、耐久性

4. 我国目前建筑抗震规范提出的抗震设防目标为(　　)。

A. 三水准两阶段　　B. 三水准三阶段

C. 两水准三阶段　　D. 单水准单阶段

5. 在抗震设防中，小震对应的是(　　)。

A. 小型地震　　B. 多遇地震　　C. 偶遇地震　　D. 罕遇地震

6. 下列哪种结构形式对抗震是最有利的？(　　)

A. 框架结构　　B. 砌体结构　　C. 剪力墙结构　　D. 桁架结构

7. 下列结构类型中，抗震性能最佳的是(　　)。

A. 钢结构　　B. 现浇钢筋混凝土结构

C. 预应力混凝土结构　　D. 装配式钢筋混凝土结构

8. 下列哪些结构布置对抗震是不利的？(　　)

A. 结构不对称　　B. 各楼层屈服强度按层高变化

C. 同一楼层的各柱等刚度　　D. 采用变截面抗震墙

9. 框架结构的特点有(　　)。

A. 建筑平面布置灵活　　B. 适用于商场、展厅以及轻工业厂房

C. 构件简单　　D. 施工方便

三、判断题

1. 结构在正常使用时，应具有足够的耐久性能。(　　)

2. 构件若超出承载能力极限状态，就有可能发生严重后果。(　　)

3. 目前来讲，抗震能力的概念设计比理论计算重要。(　　)



模块2 建筑结构施工图

教学目标

通过本模块的学习，了解结构施工图的内容和图示方法；掌握常见建筑结构施工图的识读方法；能看懂混合结构、钢筋混凝土框架结构的施工图。对《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(简称平法)有所认识。本模块的教学目标是具备实际应用的能力，具体地说，就是能够识读简单工程的施工图。要达到这个目的，一是将实例一、实例二中所有图纸通读一遍，二是多接触实际工程，加强识读施工图的练习。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
结构设计总说明	掌握结构设计总说明的内容及图纸目录；能够读懂结构设计总说明	10%
基础图	掌握基础平面图和基础详图一般的组成和表示方法；能够识读基础平面图和基础详图	20%
柱模板及配筋图	理解柱模板及配筋图的作用和表示方法；能够识读柱模板及配筋图	20%
梁模板及配筋图	理解梁模板及配筋图的作用和表示方法；能够识读梁模板及配筋图	20%
结构平面布置图	理解楼层结构平面布置图和屋面结构布置图的作用和表示方法；能够识读楼层结构平面布置图和屋面结构布置图	20%
其他结构构件详图	理解楼梯结构详图和其他详图(如预埋件、连接件等)的作用和表示方法；能够识读楼梯结构详图和其他详图(如预埋件、连接件等)	10%

学习重点

常用构件的代号，结构说明，基础结构图，各楼层结构平面图，梁配筋平法表示方法，柱配筋平法表示方法，构件详图的识读。

引例

图 1.1(a)所示为二层砖混结构办公楼(实例一)的建筑效果图，图 1.1(b)所示为二层框架结构教学楼(实例二)的建筑效果图，其建筑施工图和结构施工图分别见附录 A、B。实际工程中我们看见的都是施工图。

附录 A 是一栋砖混结构办公楼(实例一)，层高 3.6m，平面尺寸为 42.9m×13.2m。建筑抗震设防烈度为 7 度。办公楼面为预制板，卫生间为现浇钢筋混凝土楼(屋)面，墙体采用 MU10 蒸压粉煤灰砖砌筑。其建筑平、立、剖面图见建施-1～建施-4。一栋房屋从施工到建成，需要有全套房屋施工图(即常说的建筑施工图、结构施工图、水施工图、电施工图、暖通施工图)做指导。在整套施工图中，建筑施工图处于主导地位。结构施工图是施工的重要依据。

思考：如何读懂结构施工图？结构施工图表达的内容？

“建筑制图”课程介绍了建筑施工图，它表达了建筑的外形、大小、功能、内部布置、内外装修和细部结构的构造做法，而建筑物的各承重构件(如基础、柱、梁、板等结构构件)的布置和配筋并没有表达出来。因此，在进行房屋设计时除了画出建筑施工图外，还要进行结构设计，画出结构施工图。本模块将介绍结构施工图的内容。

2.1 结构施工图的内容与作用

2.1.1 结构施工图的内容

结构施工图主要表示承重构件(基础、墙体、柱、梁、板)的结构布置，构件种类、数量，构件的内部构造、配筋和外部形状大小，材料及构件间的相互关系。其内容包括以下几点。


【剪力墙结构图】

(1) 结构设计总说明。

(2) 基础图：包括基础(含设备基础、基础梁、地圈梁)平面图和基础详图。

(3) 结构平面布置图：包括楼层结构平面布置图和屋面结构布置图。

(4) 柱(墙)、梁、板的配筋图：包括梁、板结构详图。

(5) 结构构件详图：包括楼梯(电梯)结构详图和其他详图(如预埋件、连接件等)。

上述顺序即为结构施工图的识读顺序。



特别提示

(1) 结构施工图必须和建筑施工图密切配合，它们之间不能产生矛盾。

(2) 根据工程的复杂程度，结构说明的内容有多有少，一般设计单位将内容详列在一张“结构设计说明”图纸上。

(3) 基础断面详图应尽可能与基础平面图布置在同一张图纸上，以便对照施工，读图方便。

2.1.2 结构施工图的作用

结构施工图主要作为施工放线，开挖基槽，安装梁、板构件，浇筑混凝土，编制施工预算，进行施工备料及做施工组织计划等的依据。

2.1.3 常用结构构件代号和钢筋的画法

房屋结构中的承重构件往往是种类多、数量多，而且布置复杂，为了图面清晰，把不同的构件表达清楚，为了便于施工，在结构施工图中，结构构件的位置用其代号表示，每个构件都应有个代号。《建筑结构制图标准》(GB/T 50105—2010)中规定这些代号用构件名称汉语拼音的第一个大写字母表示。要识读结构施工图，必须熟悉各类构件代号，常用构件代号见表2-1。钢筋的画法见表2-2。

表2-1 常用结构构件代号

序号	名称	代号	序号	名称	代号
1	板	B	15	楼梯梁	TL
2	屋面板	WB	16	框支梁	KZL
3	空心板	KB	17	框架梁	KL
4	槽形板	CB	18	屋面框架梁	WKL
5	折板	ZB	19	框架	KJ
6	楼梯板	TB	20	刚架	GJ
7	预应力空心板	YKB	21	柱	Z
8	屋面梁	WL	22	构造柱	GZ
9	吊车梁	DL	23	承台	CT
10	梁	L	24	桩	ZH
11	圈梁	QL	25	雨篷	YP
12	过梁	GL	26	阳台	YT
13	连系梁	LL	27	预埋件	M
14	基础梁	JL	28	基础	J

表 2－2　钢筋的画法

序号	说　　明	图　　例
1	在结构平面图中配置双层钢筋时，底层钢筋的弯钩应向上或向左，顶层钢筋的弯钩则向下或向右	(底层)　(顶层)
2	钢筋混凝土墙体配双层钢筋时，在配筋立面图中，远面钢筋的弯钩应向上或向左，而近面钢筋的弯钩则向下或向右 （JM 近面；YM 远面）	JM YM JM YM　JM YM JM YM
3	若在断面图中不能表达清楚的钢筋布置，应在断面图外增加钢筋大样图（如钢筋混凝土墙、楼梯等）	
4	图中所表示的箍筋、环筋等若布置复杂时，可加画钢筋大样及说明	或
5	每组相同的钢筋、箍筋或环筋，可用一根粗实线表示，同时用一两端带斜短画线的横穿细线，表示其余钢筋及起止范围	

特别提示

（1）钢筋代号：ϕ—HPB 300 级钢筋；Φ—HRB 335 级钢筋；Φ—HRB 400 级钢筋；Φ—HRB 500 钢筋。

（2）如 ϕ8@200 表示 HPB 300 级钢筋，直径为 8mm，间距为 200mm。4Φ18 表示 4 根直径为 18mm 的 HRB400 级钢筋。

（3）在阅读结构施工图前，必须先阅读建筑施工图，建立起立体感，并且在识读结构施工图期间，先看文字说明后看图样；应反复核对结构与建筑对同一部位的表示，这样才能准确地理解结构图中所表达的内容。

2.2 钢筋混凝土框架结构施工图



【框架结构施工图】

引例

实例二教学楼为二层全现浇钢筋混凝土框架结构，层高3.6m，平面尺寸为45m×17.4m。建筑抗震设防烈度为7度。

建筑平、立面图见实例二建施-1～建施-3。三维效果图如图1.1(b)所示。

思考：该楼的图纸表达与实例一有何异同？

2.2.1 框架结构施工图内容

(1) 结施-1：结构设计总说明和图纸目录。

(2) 结施-2：基础平面图和基础详图。

(3) 结施-3：柱平法配筋图。

(4) 结施-4：楼面板模板配筋图。

(5) 结施-5：楼面梁平法施工图。

(6) 结施-6：屋面板模板配筋图。

(7) 结施-7：屋面梁平法施工图。

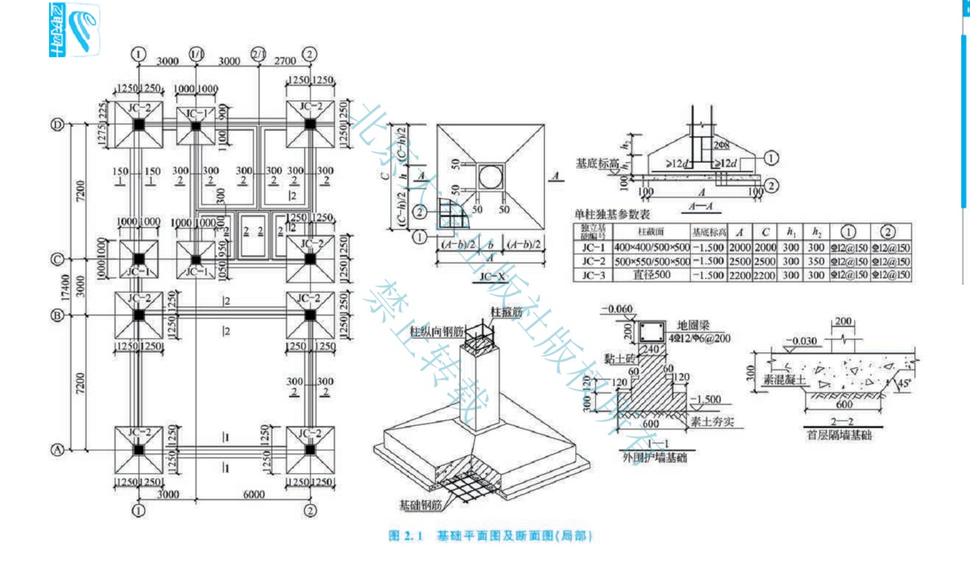
(8) 结施-8：楼梯结构详图。

2.2.2 钢筋混凝土结构施工图的识读

【实例二解读1】

结施-1为结构设计总说明。由图可知：工程为二层框架结构，7度抗震设防，地基承载力特征值是200kPa，墙体材料的类型、规格、强度等级，混凝土及钢筋的等级，构造要求，施工注意事项，选用标准图集等情况均有说明。

结施-2为基础平面图，局部如图2.1所示，由图可知：基础类型为柱下独立基础，共有3种基础形式，JC-1、JC-2、JC-3，基底标高为−1.5m，平面图中表示了各自的尺寸、定位。JC-1～JC-3的基础详图和配筋见JC-X、A—A剖面、单柱柱基参数表。JC-3为一圆柱(直径500mm)下的基础，尺寸为2200mm×2200mm；JC-2为正方形，尺寸为2500mm×2500mm，板底钢筋网片为ф12@150，钢筋直径为12mm，间距为150mm；JC-1为正方形，尺寸为2000mm×2000mm，板底钢筋网片为ф12@150，两个方向钢筋直径均为12mm，间距为150mm。



单柱独基参数表

独立基础编号	柱截面	基底标高	A	C	h_1	h_2	①	②
JC-1	400×400/500×500	-1.500	2000	2000	300	300	⌀12@150	⌀12@150
JC-2	500×550/500×500	-1.500	2500	2500	300	350	⌀12@150	⌀12@150
JC-3	直径500	-1.500	2200	2200	300	300	⌀12@150	⌀12@150

图 2.1　基础平面图及断面图(局部)

墙下基础分布在各道轴线上，外墙剖面1—1，墙下条形基础定位轴线两侧的线是基础墙的断面轮廓线，墙线外侧的细线是可见的墙下基础底部轮廓线，宽度为600mm。所有墙墙体厚度均为240mm，轴线居中(距内、外侧均为120mm,)。内墙剖面2—2，宽度为600mm，采用元宝基础。

特别提示

(1) ①号筋、②号筋均为受力钢筋，网状配置。

(2) 基坑尺寸和标高不包括垫层宽和厚度，实际开挖时注意考虑垫层。

结施-4和结施-6为楼面板、屋面板模板配筋图，局部配筋图如图2.2所示。

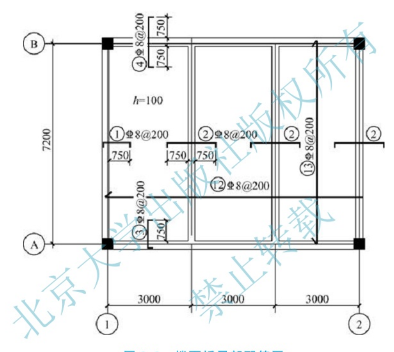


图2.2 楼面板局部配筋图

特别提示

(1) 板是连续单向板，板跨中下部受拉，支座上部受拉，受力钢筋配在受拉侧，即⑫号筋在下部，②号筋在上部。

(2) 支座上部钢筋的内侧还有分布钢筋Φ8@200(图中未标出)。

(3) 图2.2中下部短向钢筋⑫放在长向钢筋⑬的外侧。

(4) 板上负筋长度为$\frac{1}{4}$跨度，即$\frac{1}{4}\times3000=750$(mm)。

思考：结施-3是柱平法施工图，结施-5和结施-7为楼面梁和屋面梁平法施工图。什么是平法施工图？制图规则有何规定？

2.2.3 混凝土结构施工图平面整体表示法制图规则及其识图

《混凝土结构施工图平面整体表示法制图规则和构造详图》(以下简称平法)是目前我国混凝土结构施工图的主要设计表示方法。图集号分别为:《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(现浇混凝土框架、剪力墙、梁、板)(16G101—1)、(现浇混凝土板式楼梯)(16G101—2)、(独立基础、条形基础、筏形基础、桩基础)(16G101—3)。

平法施工图由于采用了全新的平面整体表示方法制图规则来表达,在识读平法施工图时,应首先掌握平法制图规则。对平法标准构造图集的识读,更需要的是对规范条文的理解和一定的施工经验积累。现主要介绍16G101—1标准设计图集的识读。

1. 柱平法施工图制图规则

柱平法施工图系在柱平面布置图上采用列表注写方式或截面注写方式表达柱构件的截面形状、几何尺寸、配筋等设计内容,并用表格或其他方式注明包括地下和地上各层的结构层楼(地)面标高、结构层高及相应的结构层号(与建筑楼层号一致)。

柱编号方式见表2-3。

表2-3 柱编号

柱类型	代号	序号	柱类型	代号	序号
框架柱	KZ	××	梁上柱	LZ	××
转换柱	ZHZ	××	剪力墙上柱	QZ	××
芯柱	XZ	××			

结构层标高指扣除建筑面层及垫层做法厚度后的标高,如图2.3所示。结构层应含地下及地上各层,同时应注明相应结构层号(与建筑楼层号一致)。

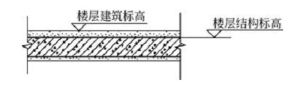


图2.3 结构层楼面标高示例

1) 截面注写方式

截面注写方式是指在分标准层绘制的柱平面布置图的柱截面上,分别在同一编号的柱中选择一个截面,以直接注写截面尺寸和配筋具体数值的方式,来表达柱平法施工图(图2.4)。首先对所有柱截面进行编号,从相同编号的柱中选择一个截面,按另一种比例在原位放大绘制柱截面配筋图,并在各配筋图上继其编号后再注写截面尺寸$b\times h$、角筋或全部纵筋、箍筋的具体数值,并在柱截面配筋图上标注柱截面与轴线关系的具体数值。

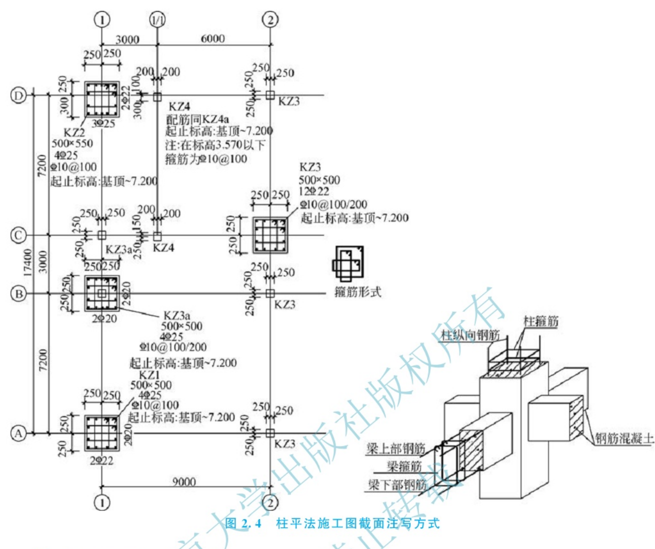


图 2.4 柱平法施工图截面注写方式

特别提示

截面注写方式绘制的柱平法施工图图纸数量一般与标准层数相同。但对不同标准层的不同截面和配筋，也可根据具体情况在同一柱平面布置图上用加括号“( )”的方式来区分和表达不同标准层的注写数值。加括号的方法是设计人员经常用来区分图纸上图形相同、数值不同时的有效方法。

2）结构层楼面标高、结构层高及相应结构层号

此项内容可以用表格或其他方法注明，用来表达所有柱沿高度方向的数据，方便设计和施工人员查找、修改。如二层楼面，其结构层楼面标高为 3.57m，层高为 3.6m，见表 2-4。

表 2-4 结构层标高及结构层高示例

层　　号	标高/m	层高/m
屋面	7.20	0
2	3.57	3.60
1	基础顶面	3.60

【实例二解读 2】

图 2.4 中：框架柱 KZ1 是角柱，截面尺寸为 500mm×500mm，柱中纵向受力钢筋：四角 4Φ25 钢筋，两边配有 2Φ22 和 2Φ20 钢筋，箍筋 Φ10@100（表示箍筋为 HRB400 级钢筋，直径为 10mm，沿全高加密，间距为 100mm）。框架柱 KZ2 仍是角柱，截面尺寸为 500mm×550mm，柱中纵向受力钢筋：四角 4Φ25 钢筋，两边配有 3Φ25、2Φ22 钢筋，箍筋 Φ10@100（表示箍筋为 HRB400 级钢筋，直径为 10mm，沿全高加密，间距为 100mm）。框架柱 KZ3，截面尺寸为 500mm×500mm，柱中纵向受力钢筋 12Φ22，箍筋 Φ10@100/200（表示箍筋为 HRB400 级钢筋，直径为 10mm，加密区间距为 100mm，非加密区间距为 200mm）。柱高度自基础顶到 7.200m。

图 2.5 所示为 KZ3 配筋图及抽筋图，可以对照阅读。

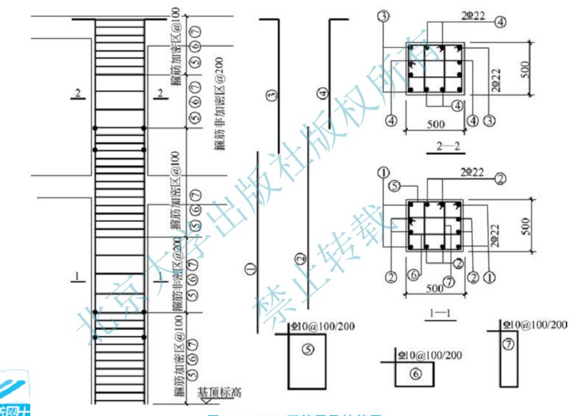




图 2.5　KZ3 配筋图及抽筋图

知识链接

柱列表注写方式

柱列表注写方式，就是在柱平面布置图上，分别在不同编号的柱中各选择一个(有时需几个)截面，标注柱的几何参数代号；另在柱表中注写柱号、柱段起止标高、几何尺寸与配筋具体数值；同时配以各种柱截面形状及其箍筋类型图的方式，来表达柱平法施工图(图 2.8)。一般情况下，用一张图纸便可以将本工程所有柱的设计内容(构造要求除外)一次性表达清楚。

第一部分：柱平面布置图。在柱平面布置图上，分别在不同编号的柱中各选择一个(或几个)截面，标注柱的几何参数代号 b_1、b_2、h_1、h_2，用以表示柱截面形状及与轴线关系。

第二部分：柱表。柱表内容包含以下6部分。

(1) 编号：由柱类型代号(如KZ…)和序号(如1，2，…)组成，应符合表2-3的规定。给柱编号一方面可以使设计和施工人员对柱的种类、数量一目了然；另一方面，在必须与之配套使用的标准构造详图中，也按构件类型统一编制了代号，这些代号与平法图中相同类型的构件的代号完全一致，使二者之间建立明确的对应互补关系，从而保证结构设计的完整性。

(2) 各段柱的起止标高：自柱根部往上，以变截面位置或截面未变但配筋改变处为界分段注写。框架柱和框支柱的根部标高系指基础顶面标高。梁上柱的根部标高系指梁顶面标高。剪力墙上柱的根部标高分两种：当柱纵筋锚固在墙顶部时，其根部标高为墙顶面标高；当柱与剪力墙重叠一层时，其根部标高为墙顶面往下一层的结构层楼面标高，如图2.6所示。

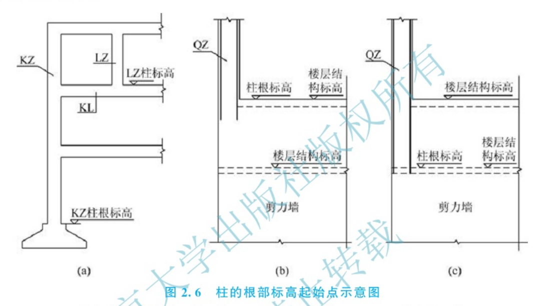


图2.6 柱的根部标高起始点示意图

(a) 框架柱、框支柱、梁上柱；(b) 剪力墙上柱(1)；(c) 剪力墙上柱(2)

(3) 柱截面尺寸$b\times h$及与轴线关系的几何参数代号b_1、b_2和h_1、h_2的具体数值，须对应各段柱分别注写。其中$b=b_1+b_2$，$h=h_1+h_2$。当截面的某一边收缩变化至与轴线重合或偏离轴线的另一侧时，b_1、b_2、h_1、h_2中的某项为零或为负值，如图2.7所示。

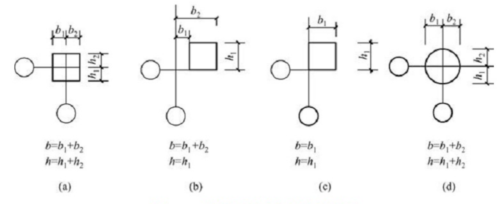


图2.7 柱截面尺寸与轴线的关系

(4) 柱纵筋：分角筋、截面b边中部筋和h边中部筋3项。当柱纵筋直径相同，各边根数也相同时，可将纵筋写在“全部纵筋”一栏中。采用对称配筋的矩形柱，可仅注写一侧中部筋，对称边省略。

(5) 箍筋种类、型号及箍筋肢数，在箍筋类型栏内注写。具体工程所设计的箍筋类型图及箍筋复合的具体方式，需画在表的上部或图中的适当位置，并在其上标注与表中相对应的 b、h 和类型号。各种箍筋的类型如图 2.8 所示。

(6) 柱箍筋：包括钢筋级别、直径与间距。当为抗震设计时，用斜线“/”区分柱端箍筋加密区与柱身非加密区长度范围内箍筋的不同间距。例如：Φ8@100/200，表示箍筋为 HRB400 级钢筋，直径为 8mm，加密区间距为 100mm，非加密区间距为 200mm。当柱纵筋采用搭接连接，且为抗震设计时，在柱纵筋搭接长度范围内(应避开柱端的箍筋加密区)的箍筋，均应按≤5d(d 为柱纵筋较小直径)且≤100mm 的间距加密。

【实例二解读 3】

图 2.4 所述框架若用柱列表注写方式表达如图 2.8 所示。

柱　表

柱号	标高/m	$b \times h$/mm	b_1/mm	b_2/mm	h_1/mm	h_2/mm	角筋	b 边一侧	h 边一侧	箍筋类型号	箍　筋	备　注
KZ1	基顶～7.200	500×500	250	250	250	250	4Φ25	2Φ22	2Φ20	1(4×4)	Φ10@100	起止标高：基顶～7.200
KZ2	基顶～7.200	500×550	250	250	300	250	4Φ25	3Φ25	2Φ22	1(4×4)	Φ10@100	起止标高：基顶～7.200
KZ3	基顶～7.200	500×500	250	250	250	250	4Φ22	2Φ22	2Φ22	1(4×4)	Φ10@100/200	起止标高：基顶～7.200
KZ4	基顶～7.200	400×400	200	200	250 (300)	150 (100)	4Φ2	2Φ22	2Φ20	1(4×4)	Φ10@100 Φ10@100/200	起止标高： 基顶～3.570 3.570～7.200

图 2.8　柱平法施工图列表注写方式

2. 梁平法施工图制图规则

梁平法施工图，是在梁平面布置图上采用平面注写方式或截面注写方式表达。在梁平法施工图中，也应注明结构层的顶面标高及相应的结构层号(同柱平法标注)。需要提醒注意的是：在柱、剪力墙和梁平法施工图中分别注明的楼层结构标高及层高必须保持一致，以保证用同一标准竖向定位。通常情况下，梁平法施工图的图纸数量与结构楼层的数量相同，图纸清晰简明，便于施工。

平面注写方式是在梁平面布置图上，分别在不同编号的梁中各选一根梁，在其上注写截面尺寸和配筋具体数值的方式来表达梁平法施工图，如图 2.9 所示。

图 2.9 平法 KL3 梁平面注写方式对比示例

平面注写包括集中标注和原位标注。集中标注表达梁的通用数值，即梁多数跨都相同的数值；原位标注表达梁的特殊数值，即梁个别截面与其不同的数值。

特别提示

当集中标注中的某项数值不适用于梁的某部位时，则将该项数值原位标注。施工时，原位标注取值优先。这样，既有效减少了表达上的重复，又保证了数值的唯一性。

1）梁集中标注的内容

梁集中标注的内容，有五项必注值及一项选注值，规定如下。

(1) 梁编号。该项为必注值，由梁类型代号、序号、跨数及有无悬挑代号组成。根据梁的受力状态和节点构造的不同，将梁类型代号归纳为 8 种，见表 2－5。

表 2－5　梁编号

梁类型	代号	序号	跨数、是否带悬挑
楼层框架梁	KL	××	(××)、(××A)或(××B)
屋面框架梁	WKL	××	(××)、(××A)或(××B)
框支梁	KZL	××	(××)、(××A)或(××B)
非框架梁	L	××	(××)、(××A)或(××B)
悬挑梁	XL	××	—
井字梁	JZL	××	(××)、(××A)或(××B)
楼层框架扁梁	KB2	××	(××)、(××A)或(××B)
托柱转换梁	TZL	××	(××)、(××A)或(××B)

注：(××A)为一端有悬挑，(××B)为两端有悬挑，悬挑不计入跨内。

(2) 梁截面尺寸。该项为必注值。等截面梁时，用 $b\times h$ 表示；当为竖向加腋梁时，用 $b\times h$、$Yc_1\times c_2$ 表示，其中 c_1 为腋长、c_2 为腋高(图 2.10)；当为水平加腋梁时，用 $b\times h$、$PYc_1\times c_2$ 表示；当有悬挑梁且根部和端部的高度不同时，用斜线分隔根部与端部的高度值，即 $b\times h_1/h_2$(图 2.11)。

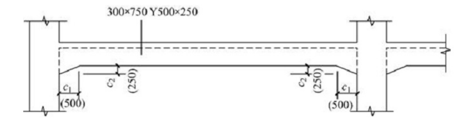


图 2.10　竖向加腋梁截面尺寸注写示意

(3) 梁箍筋。包括钢筋级别、直径、加密区与非加密区间距及根数，该项为必注值。箍筋加密区与非加密区的不同间距及根数需用斜线“/”分隔；当梁箍筋为同一种间距及根数时，则不需用斜线；当加密区与非加密区的箍筋根数相同时，则将根数注写一次；箍筋根数应写在括号内。加密区范围见相应抗震级别的构造详图(模块 8)。

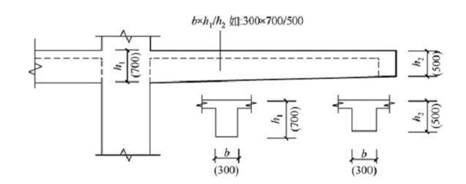


图 2.11　悬挑梁不等高截面尺寸注写示意

特别提示

框架抗震等级分四级，相应的加密区范围也有规定，详见模块8表8-3。实例二框架抗震等级为二级。

(4) 梁上部通长筋或架立筋配置(通长筋可为相同或不同直径采用搭接连接、机械连接或对焊连接的钢筋)。该项为必注值，应根据结构受力要求及箍筋根数等构造要求而定。当同排纵筋中既有通长筋又有架立筋时，应采用加号“＋”将通长筋和架立筋相连。注写时需将角部纵筋写在加号的前面，架立筋写在加号后面的括号内，以示不同直径及与通长筋的区别。当全部采用架立筋时，则将其写入括号内。

当梁的上部和下部纵筋均为通长筋，且各跨配筋相同时，此项可加注下部纵筋的配筋值，用分号“;”将上部与下部纵筋的配筋值分隔开来，少数跨不同者，可取原位标注。

(5) 梁侧面纵向构造钢筋或受扭钢筋配置。该项为必注值。当梁腹板高度 $h_w \geqslant$ 450mm时，需配置纵向构造钢筋，所注规格与根数应符合规范规定。此项注写值以大写字母G打头，接续注写设置在梁两个侧面的总配筋值，且对称配置。

当梁侧面需配置受扭纵向钢筋时，此项注写值以字母N打头，接续注写配置在梁两个侧面的总配筋值，且对称配置。受扭纵向钢筋应满足梁侧面纵向构造钢筋的间距要求，且不再重复配置纵向构造钢筋。

【实例二解读4】

以KL3为例，该框架梁有3跨，两端跨截面尺寸为250mm×600mm，中跨为250mm×400mm，左端跨箍筋“⌀8@100/200(2)”，表示箍筋为HRB400级钢筋，直径为8mm，双肢箍，端部加密区间距为100mm，中部非加密区间距为200mm。中跨、右跨“⌀8@100(2)”，表示箍筋为HRB400级钢筋，直径为8mm，双肢箍，沿梁箍筋间距均为100mm。

该梁上部通长筋“2⌀22”，在A支座“2⌀22＋2⌀20”表示通长筋“2⌀22”另加2⌀20支座负筋，B支座“2⌀22＋2⌀20”表示通长筋“2⌀22”另加2⌀20纵筋，C支座“2⌀22＋4⌀20(4/2)”表示通长筋“2⌀22”另加4⌀20纵筋(两排)，D支座“4⌀22”表示通长筋“2⌀22”另加2⌀22纵筋。

该梁下部第一跨纵筋 3⌀20、G4⌀12 表示梁的两个侧面共配置 4⌀12 的纵向构造钢筋，每侧各 2⌀12。由于是构造钢筋，其搭接与锚固长度可取为 15d。下部第二跨纵筋 3⌀18。下部第三跨纵筋 2⌀25＋2⌀22、N4⌀14 表示梁的两个侧面共配置 4⌀14 的受扭纵向钢筋，每侧各配置2⌀14。由于是受力钢筋，其搭接长度为 l_l 或 l_{lE}，其锚固长度与方式同框架梁下部纵筋。

(6) 梁顶面标高高差。该项为选注值。梁顶面标高高差是指相对于该结构层楼面标高的高差值，有高差时，需将其写入括号内，无高差时不注。一般情况下，需要注写梁顶面高差的梁有洗手间梁、楼梯平台梁、楼梯平台板边梁等。

2) 梁原位标注的内容

梁原位标注的内容规定如下。

(1) 梁支座上部纵筋，应包含通长筋在内的所有纵筋。

① 当上部纵筋多于一排时，用斜线“/”将各排纵筋自上而下分开。

如 KL3 梁支座上部纵筋注写为 2⌀22＋4⌀20(4/2)，则表示上一排纵筋为 2⌀22(两侧)＋2⌀20(中间)，第二排纵筋为 2⌀20(两侧)。

② 当同排纵筋有两种直径时，用加号“＋”将两种直径的纵筋相连，注写时将角部纵筋在前。

如 KL3 梁 A 支座上部纵筋注写为 2⌀22＋2⌀20，表示有 4 根纵筋，2⌀22 放在角部，2⌀20 放在中部。

③ 当梁中间支座两边的上部纵筋不同时，需在支座两边分别标注；当梁中间支座两边的上部纵筋相同时，可仅在支座的一边标注配筋值，另一边省去不注。

(2) 梁下部纵筋。

① 当下部纵筋多于一排时，用斜线“/”将各排纵筋自上而下分开。

如梁下部纵筋注写为 6⌀25　2/4，则表示上一排纵筋为 2⌀25，下一排纵筋为 4⌀25，全部伸入支座。

② 当同排纵筋有两种直径时，用加号“＋”将两种直径的纵筋相连，注写时角筋写在前面。

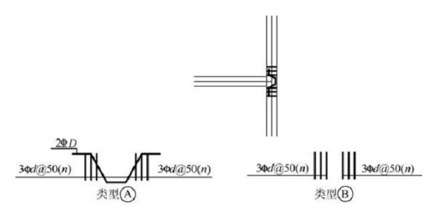
如 KL3 梁右跨下部纵筋注写为 2⌀25＋2⌀22，表示 2⌀25 放在角部，2⌀22 放在中部。

③ 当梁下部纵筋不全部伸入支座时，将梁支座下部纵筋减少的数量写在括号内。

如下部纵筋注写为 6⌀25　2(－2)/4，表示上一排纵筋为 2⌀25，且不伸入支座；下一排纵筋为 4⌀25，全部伸入支座。又如梁下部纵筋注写为 2⌀25＋3⌀22(－3)/5⌀25，则表示上一排纵筋为 2⌀25 和 3⌀22，其中 3⌀22 不伸入支座；下一排纵筋为 5⌀25，全部伸入支座。

(3) 附加箍筋或吊筋，将其直接画在平面图中的主梁上，用线引注总配筋值(附加箍筋的肢数注在括号内)，如图 2.12 所示。当多数附加箍筋或吊筋相同时，可在施工图中统一注明，少数不同值原位标注。

如 KL3 支承一梁，在支承处设 2⌀25 吊筋和附加箍筋(每侧 3 根，直径为 8mm 间距为 50mm)，类型为图示 A 类。



主次梁相交处主梁各类型附加横向钢筋配置示意图

注：D为附加横向钢筋所在主梁下部下排较粗纵筋直径，$D \leqslant 20$mm。

d为附加箍筋所在主梁箍筋直径，n为附加箍筋所在主梁箍筋根数。



图 2.12　附加箍筋和吊筋的画法示例

特别提示

在主次梁交接处，主梁必须设附加横向钢筋，附加横向钢筋可以是箍筋或吊筋，也可以是箍筋加吊筋方案。

（4）其他。当在梁上集中标注的内容如截面尺寸、箍筋、通长筋、架立筋、梁侧构造筋、受扭筋或梁顶面高差等，不适用某跨或某悬挑部分时，则将其不同数值原位标注在该跨或该悬挑部位，施工时应按原位标注数值取用。



知识链接

梁平法截面注写方式

截面注写方式是在分标准层绘制的梁平面布置图上，分别在不同编号的梁中各选一根梁用剖面号引出配筋图，并在其上注写截面尺寸和配筋具体数值的方式来表达梁平法施工图。

对所有梁进行编号，从相同编号的梁中选择一根梁，先将“单边截面号”画在该梁上，再将截面配筋详图画在本图或其他图上。当某梁的顶面标高与该结构层的楼面标高不同时，尚应在其梁编号后注写梁顶面高差。

截面配筋详图上注写截面尺寸 $b \times h$，上部筋、下部筋、侧面构造筋或受扭筋以及箍筋的具体数值时，其表达形式与平面注写方式相同。

截面注写方式可以单独使用，也可以与平面注写方式结合使用。

小　结

结构施工图是表达建筑物的结构形式及构件布置等的图样，是建筑施工的依据。

结构施工图一般包括基础平面图、楼层结构平面图、构建详图等。基础平面图、结构平面图都是从整体上反映承重构件的平面布置情况，是结构施工图的基本图样。构件详图表达了各构件的形状、尺寸、配筋及与其他构件的关系。

基础施工图是用来反映建筑物的基础形式、基础构件布置及构件详图的图样。在识读基础施工图时，应重点了解基础的形式、布置位置、基础地面宽度、基础埋置深度等。

楼层结构平面图中，主要反映了墙、柱、梁、板等构件的型号，布置位置，现浇及预制板装配情况。

构件详图主要反映构件的形状、尺寸、配筋、预埋件设置等情况。

在识读结构施工图时，要与建筑施工图对照阅读，因为结构施工图是在建筑施工图的基础上设计的。

习　题

一、判断题

1. 在结构平面图中配置双层钢筋时，底层钢筋的弯钩应向下。 (　　)
2. 欲了解建筑物的内部构造和结构形式，应查阅建筑立面图。 (　　)
3. 在结构平面图中配置双层钢筋时，顶层钢筋的弯钩应向上。 (　　)
4. 欲了解门窗的位置、宽度和数量，应查阅结构布置图。 (　　)

二、思考题

1. 说出下列构件符号所表示的内容。

TB　QL　KZL　YP　J　KB　GL　TL　KL　KZ

2. 识读 KL1 平法配筋图。
3. 识读 KZ1 平法配筋图。

模块3 建筑力学基本知识

教学目标

通过本模块的学习，要求掌握静力学的基本概念；掌握受力分析的方法，并会画物体及物体系统的受力图；掌握构件计算简图简化的方法，并能正确运用。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
了解建筑力学在建筑工程中的作用；掌握静力学的基本概念；掌握受力分析的基本方法；掌握构件计算简图简化的方法	建筑力学在建筑工程中的作用；力的概念、力的效应、力的平衡、静力学公理、力系、力矩、力偶、力的分解与合成	30%
能够在实际工程中运用力学概念进行简单受力分析的能力	常见的约束与约束类型；受力分析的方法；受力图的画法	35%
能正确地确定结构构件计算简图的能力	梁、板、柱等结构构件的简化要求，支座形式及荷载的简化	35%

学习重点

静力学的基本概念；常见的约束类型；杆件及杆件系统的受力图；构件的计算简图。

引例

实例一为两层砖混结构的办公楼，由楼面梁、预制板、砌体墙和钢筋混凝土基础等构件组成，这些构件相互支承，形成受力骨架。楼面由预制空心板铺成，空心板支承在梁上，梁支承在墙上，墙体支承在基础上。图3.1(a)所示为其构件布置示意。

实例二为两层现浇钢筋混凝土框架结构教学楼，由现浇的梁、板、柱和基础等构件组成，这些构件整体浇筑在一起。楼面是现浇的钢筋混凝土板，由框架梁支承着，柱支承着框架梁，柱固结于现浇钢筋混凝土基础内。图3.1(b)所示为其构件布置示意。

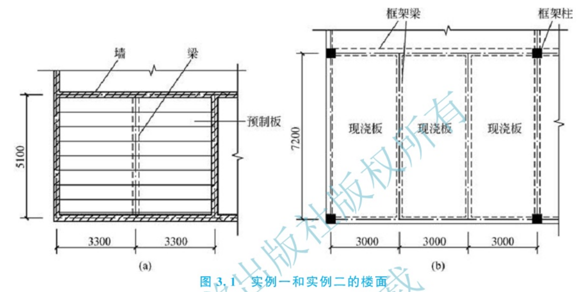


图3.1 实例一和实例二的楼面

(a) 办公楼中某办公室构件布置示意；(b) 教学楼中某教室构件布置示意

以上两个实例中各种构件之间，构件与构件上作用的家具、人群之间存在各种力的关系，房屋结构只有正确合理地承担着各种力的作用，才能安全地工作。掌握基本的建筑力学知识，这也是结构设计的第一步。

3.1 静力学的基本知识

3.1.1 静力学简介

静力学是研究物体在力作用下的平衡规律的科学。

平衡是物体机械运动的特殊形式，严格地说，物体相对于惯性参照系处于静止或做匀速直线运动的状态，即加速度为零的状态都称为平衡。对于一般工程问题，平衡状态是以地球为参照系确定的。例如，相对于地球静止不动的建筑物和沿直线匀速起吊的物体，都处于平衡状态。

特别提示

房屋从开始建造的时起，就承受各种力的作用。例如，楼板在施工中除承受自身的重力外，还承受人和施工机具的重力；墙面承受楼面传来的竖向压力和水平的风力；基础则承受墙身传来的压力；等等。

3.1.2 力的概念

1. 力

1） 力的定义

力是物体之间相互的机械作用，这种作用的效果是使物体的运动状态发生改变(外效应)，或者使物体发生变形(内效应)。

既然力是物体与物体之间的相互作用，那么，力不能脱离物体而单独存在，某一物体受到力的作用，一定有另一物体对它施加作用。在研究物体的受力问题时，必须分清哪个是施力物体，哪个是受力物体。

特别提示

实例一中预制板支承在楼面梁上，板是施力物体，梁是受力物体；楼面梁支承在墙上，梁是施力物体，墙是受力物体。

2） 力的三要素

实践证明，力对物体的作用效果取决于三个要素：力的大小、方向和作用点，如图 3.2 所示。

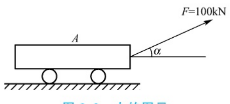


图 3.2 力的图示

描述一个力时，要全面表明力的三要素，因为任一要素发生改变时，都会对物体产生不同的效果。

(1) 力的大小。力的大小表示物体间相互作用的强烈程度。为了度量力的大小，必须确定力的单位。在国际单位制里，力的常用单位为牛顿(N)或千牛顿(kN)，1kN＝1000N。

(2) 力的方向。力的方向包含方位和指向两个含义。例如，重力的方向是铅垂向下的，“铅垂”是力的方位，“向下”是力的指向。

(3) 力的作用点。力的作用点是指力在物体上的作用位置。力的作用位置一般并不是一个点，而往往有一定的范围，但是，当力的作用范围与物体相比很小时，就可以近似地

看成一个点，而认为力集中作用在这个点上。作用在这一点上的力称为集中力，工程中也称集中荷载。

3）矢量

力是一个有大小和方向的物理量，所以力是矢量。力用一段带箭头的线段来表示。线段的长度表示力的大小；线段与某定直线的夹角表示力的方位，箭头表示力的指向；线段的起点或终点表示力的作用点。用字母表示力时，用粗黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 或 $\vec{F}$，而普通字母 F 只表示力的大小。

特别提示

实例一中的预制板承受人群和家具的重力；梁承受着预制板传来的重力；外纵墙承受着梁传来的重力和外部的风力。这些力都有确定的大小、方向和作用点，它们都是矢量。

2. 刚体



【刚体和变形体】

任何物体在力的作用下，都会发生大小和形状的改变，即发生变形。但在正常情况下，实际工程中许多物体的变形都是非常微小的，对研究物体的平衡问题影响很小，可以忽略不计，这样就可以将物体看成是不变形的。

在外力的作用下，大小和形状保持不变的物体称为刚体。例如，对实例一和实例二中的梁进行受力分析时，就应将该梁看成刚体，梁本身的变形可以忽略。

特别提示

在静力学中，将所讨论的物体都看作刚体，但在讨论物体受到力的作用时是否破坏及计算变形时，就不能再将物体看成刚体，而应看作变形体。例如，对实例一和实例二中的梁和板进行设计计算时，就要考虑梁和板本身的变形。

3. 力系

通常一个物体所受的力不止一个而是若干个。将作用于物体上的一群力称为力系。力系是工程力学研究的对象，因为所有的工程构件都是处于平衡状态，且由于一个力不可能使物体处于平衡状态，因此，工程构件都是受到力系作用的。

特别提示

实例一中办公楼的楼面梁本身有重力，还承受其上预制板传来的竖向力；梁两端支承在墙上，墙对梁还有支承力，所以对于梁来讲，梁所受的力不止一个，而是多个，这些力就构成了力系。其他的房屋结构构件也都在力系的作用之下处于平衡状态。

按照力系中各力作用线分布的不同，力系可分为以下三种。

（1）汇交力系——力系中各力的作用线汇交于一点。

（2）平行力系——力系中各力的作用线相互平行。

（3）一般力系——力系中各力的作用线既不完全交于一点，也不完全相互平行。

按照各力作用线是否位于同一平面内，上述力系又可分为平面力系和空间力系两类。本书主要研究的是平面力系，如平面汇交力系、平面平行力系和平面一般力系。

如果物体在某一力系作用下保持平衡状态，则该力系称为平衡力系。作用在物体上的一个力系，如果可用另一个力系来代替，而不改变力系对物体的作用效果，则这两个力系称为等效力系。如果一个力与一个力系等效，则这个力就为该力系的合力；原力系中的各个力称为其合力的各个分力。

特别提示

实例一中的楼面梁L1所承受的各个力组成了力系，如图3.3所示。这些力都作用在梁的纵向对称平面内，所以该力系为平面力系。经过分析，可以发现这个平面力系中的各个力的作用线又是相互平行的，所以该力系又可以称为平面平行力系。

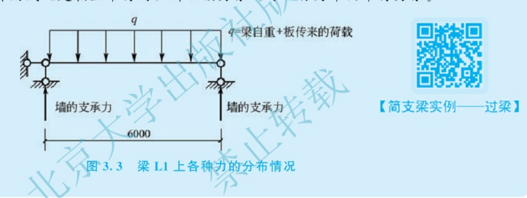


图3.3　梁L1上各种力的分布情况

3.1.3 静力学公理

静力学公理是人们在长期的生产和生活实践中逐步认识和总结出来的力的普遍规律。它阐述了力的基本性质，是静力学的基础。

1. 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的充分与必要条件是：这两个力大小相等、方向相反，作用线在同一直线上。

此公理说明了作用在同一个物体上的两个力的平衡条件。

知识链接

如图3.4所示，在起重机上挂一静止重物[图3.4(a)]，重物受到绳索拉力 $\boldsymbol{T}$ 和重力 $\boldsymbol{G}$ 的作用[图3.4(b)]，则这两个力大小相等、方向相反且作用在同一条直线上。

只在两点受力的作用而处于平衡的构件称为二力构件，如图 3.5 所示。如果构件是一个直杆，则称为二力杆，如图 3.6 所示。

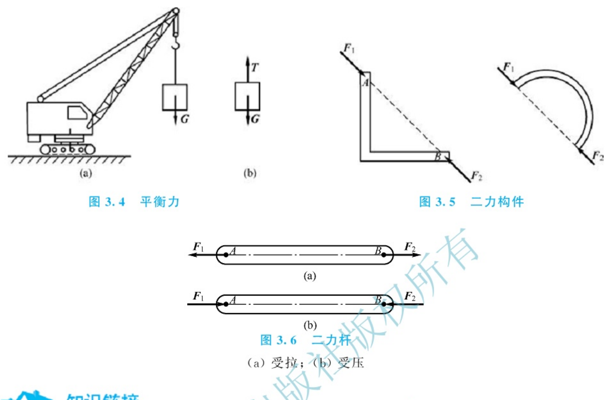


图 3.4 平衡力

图 3.5 二力构件

图 3.6 二力杆

(a) 受拉；(b) 受压

知识链接

应当注意，只有当力作用在刚体上时，二力平衡公理才能成立，对于变形体，二力平衡条件只是必要条件，并不是充分条件。例如，满足上述条件的两个力作用在一根绳子上，当这两个力使绳子受拉时，绳子才能平衡，如图 3.7(a)所示。如受等值、反向、共线的压力就不能平衡了，如图 3.7(b)所示。

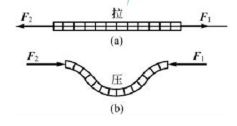


图 3.7 二力作用下的变形体

(a) 受拉；(b) 受压

2. 作用力与反作用力

【作用力与反作用力】

作用力和反作用力总是同时存在，两力的大小相等、方向相反，沿着同一直线，分别作用在两个相互作用的物体上。

若 A 物体对 B 物体有一个作用力，则同时 B 物体对 A 物体必有一个反作用力。这两个力大小相等、方向相反，沿着同一直线分别作用在这两个物体上。如图 3.8 所示，$\mathbf{N}_1$ 和 $\mathbf{N}_1'$ 为作用力和反作用力，它们分别作用在 A、B 两个物体上。

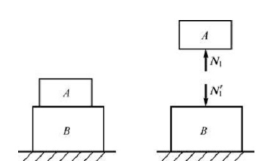


图 3.8　作用力与反作用力

此公理说明了两个物体间相互作用力的关系。这里必须强调指出：作用力和反作用力是分别作用在两个物体上的力，任何作用在同一个物体上的两个力都不是作用力与反作用力。



特别提示

实例一中的各个受力构件之间都存在作用力和反作用力的关系。例如，支承在墙上的楼面梁L1，梁对墙的压力和墙对梁的支持力是作用力和反作用力的关系。

3. 加减平衡力系公理

在作用着已知力系的刚体上，加上或者减去任意平衡力系，不会改变原来力系对刚体的作用效应。这是因为平衡力系对刚体的运动状态没有影响，所以增加或减少任意平衡力系均不会使刚体的运动效果发生改变。

推论　力的可传性原理：作用在刚体上的力可以沿其作用线移动到刚体上的任意一点，而不改变力对物体的作用效果。

根据力的可传性原理可知，力对刚体的作用效应与力的作用点在作用线上的位置无关。因此，力的三要素可改为力的大小、方向、作用线。

知识链接

如图3.9所示，在 A 点作用一水平力 $\boldsymbol{F}$ 推车或沿同一直线在 B 点拉车，对小车的作用效果是一样的。

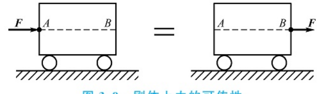
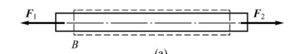


图 3.9　刚体上力的可传性

力的可传性原理只适用于刚体而不适用于变形体。当研究物体的内力、变形时，将力的作用点沿着作用线移动，必须使该力对物体的内力效应发生改变。如图3.10(a)所示，直杆 AB 为变形体，受到一对拉力的作用，杆件伸长。但若将两力分别沿其作用线移动到杆的另一端，如图3.10(b)所示，此杆将缩短。



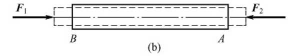


图 3.10 力在变形体上沿作用线移动

(a) 变形体受拉伸长；(b) 变形体受压缩短

4. 力的平行四边形法则

作用于刚体上同一点的两个力可以合成一个合力，合力也作用于该点，合力的大小和方向由这两个力为邻边所组成的平行四边形的对角线(通过二力汇交点)确定。如图 3.11(a)所示，两力 $\boldsymbol{F}_1$、$\boldsymbol{F}_2$ 汇交于 A 点，它们的合力 $\boldsymbol{F}$ 也作用在 A 点，合力 $\boldsymbol{F}$ 的大小和方向由 $\boldsymbol{F}_1$、$\boldsymbol{F}_2$ 为邻边所组成的平行四边形 $ABCD$ 的对角线 AC 确定：合力 $\boldsymbol{F}$ 的大小为此对角线的长，方向由 A 指向 C。

作用在刚体上的两个汇交力可以合成一个合力。反之，作用在刚体上的一个力也可以分解为两个分力。在工程实际中，最常见的分解方法是将已知力 $\boldsymbol{F}$ 沿两直角坐标轴方向分解，如图 3.11(b)所示，可分解为两个相互垂直的分力 $\boldsymbol{F}_x$ 和 $\boldsymbol{F}_y$。

按照三角公式可得下列关系

两分力的大小为
$$\begin{cases} F_x = F\cos\alpha \\ F_y = F\sin\alpha \end{cases} \tag{3-1}$$

推论 三力平衡汇交定理：若刚体在 3 个互不平行的力的作用下处于平衡状态，则此 3 个力的作用线必在同一平面且汇交于一点。

如图 3.12 所示，物体在 3 个互不平行的力 $\boldsymbol{F}_1$、$\boldsymbol{F}_2$ 和 $\boldsymbol{F}_3$ 作用下处于平衡，其中二力 $\boldsymbol{F}_1$、$\boldsymbol{F}_2$ 可合成一作用于 A 点的合力 $\boldsymbol{F}$。据二力平衡公理，第三力 $\boldsymbol{F}_3$ 与 $\boldsymbol{F}$ 必共线，即第三力 $\boldsymbol{F}_3$ 必过其他二力 $\boldsymbol{F}_1$、$\boldsymbol{F}_2$ 的汇交点 A。

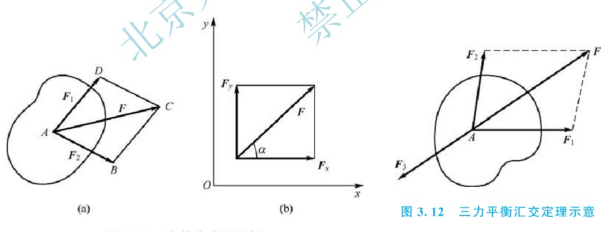


图 3.11 力的合成和分解

(a) 力的合成；(b) 力的分解

图 3.12 三力平衡汇交定理示意

3.1.4 力的合成与分解

1. 力在坐标轴上的投影

由于力是矢量，而矢量在运算中很不方便，所以一般在力学计算中常常是将矢量运算转化

为代数运算。力在直角坐标轴上的投影就是转化的基础。

设力 $\boldsymbol{F}$ 作用在物体上某点 A 处，用 AB 表示。通过力 $\boldsymbol{F}$ 所在平面的任意点 O 作直角坐标系 xOy，如图 3.13 所示。从力 $\boldsymbol{F}$ 的起点 A、终点 B 分别作垂直于 x 轴的垂线，得垂足 a 和 b，并在 x 轴上得线段 ab，线段 ab 的长度加以正负号称为力 $\boldsymbol{F}$ 在 x 轴上的投影，用 F_x 表示。同样方法也可以确定力 $\boldsymbol{F}$ 在 y 轴上的投影为线段 a_1b_1，用 F_y 表示。并且规定：从投影的起点到终点的指向与坐标轴正方向一致时，投影取正号；从投影的起点到终点的指向与坐标轴正方向相反时，投影取负号。

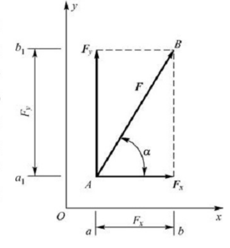
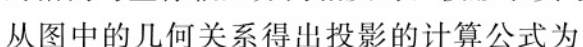


图 3.13　直角坐标系中力的投影



从图中的几何关系得出投影的计算公式为

$$\begin{cases} F_x = \pm F\cos\alpha \\ F_y = \pm F\sin\alpha \end{cases} \tag{3-2}$$

式中，α——力 $\boldsymbol{F}$ 与 x 轴所夹的锐角。F_x 和 F_y 的正负可按上面提到的规定直观判断得出。

反过来，已知力 $\boldsymbol{F}$ 在直角坐标系的投影 F_x 和 F_y，则可以求出这个力的大小和方向。由图 3.13 中所示的几何关系可知

$$\begin{cases} F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \alpha = \arctan\dfrac{|F_y|}{|F_x|} \end{cases} \tag{3-3}$$

特别要指出的是，当力 $\boldsymbol{F}$ 与 x 轴(y 轴)平行时，$\boldsymbol{F}$ 的投影 F_y(F_x)为零；F_x(F_y)的值与 $\boldsymbol{F}$ 的大小相等，方向按上述规定的符号确定。

特别提示

$\boldsymbol{F}$ 的分力 $\boldsymbol{F}_x$ 与 $\boldsymbol{F}_y$ 的大小与 $\boldsymbol{F}$ 在对应的坐标轴上的投影 F_x 和 F_y 的绝对值相等，但力的投影与力的分力却是两个不同的概念。力的投影是代数量，由力 $\boldsymbol{F}$ 可确定其投影 F_x 和 F_y，但是由投影 F_x 和 F_y 只能确定力 $\boldsymbol{F}$ 的大小和方向，不能确定其作用位置；而力的分力是力沿该方向的分作用，是矢量，由分力能完全确定力的大小、方向和作用位置。

应用案例 3－1

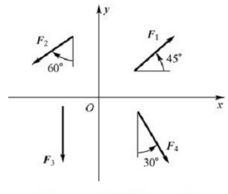


图 3.14　应用案例 3－1 图

试分别求出图 3.14 中所示的各力在 x 轴和 y 轴上投影。已知 $F_1 = 100\text{N}$，$F_2 = 150\text{N}$，$F_3 = F_4 = 200\text{N}$，各力方向如图 3.14 所示。

解：由公式可得出各力在 x、y 轴上的投影为

$F_{1x} = F_1\cos45° = 100\times0.707 = 70.7(\text{N})$

$F_{1y} = F_1\sin45° = 100\times0.707 = 70.7(\text{N})$

$F_{2x} = -F_2\sin60° = -150\times0.866 = -129.9(\text{N})$

$F_{2y} = -F_2\cos60° = -150\times0.5 = -75(\text{N})$

$F_{3x}=F_3\cos90°=0$

$F_{3y}=-F_3\sin90°=-200\times1=-200(\mathrm{N})$

$F_{4x}=F_4\sin30°=200\times0.5=100(\mathrm{N})$

$F_{4y}=-F_4\cos30°=-200\times0.866=-173.2(\mathrm{N})$

【案例点评】

以上案例中的各力出现在不同的方向上，具有代表性。在求解力的投影时要明确力的投影与坐标轴的正方向的关系，若方向一致，力的投影就取正号；反之，则取负号。

2. 合力投影定理

合力在坐标轴上的投影(F_{Rx}，F_{Ry})等于各分力在同一轴上投影的代数和，即

$$\begin{cases}F_{Rx}=F_{1x}+F_{2x}+\cdots+F_{nx}=\sum F_x\\F_{Ry}=F_{1y}+F_{2y}+\cdots+F_{ny}=\sum F_y\end{cases}\tag{3-4}$$

如果将各个分力沿坐标轴方向进行分解，再对平行于同一坐标轴的分力进行合成(方向相同的相加，方向相反的相减)，可以得到合力在该坐标轴方向上的分力(F_{Rx}，F_{Ry})。不难证明，合力在直角坐标系坐标轴上的投影(F_{Rx}，F_{Ry})和合力在该坐标轴方向上的分力(F_{Rx}，F_{Ry})大小相等，而投影的正号代表了分力的指向和坐标轴的指向一致，负号则相反。

应用案例 3-2

分别求出图 3.15 中所示的各力的合力在 x 轴和 y 轴上投影。已知 $F_1=20\mathrm{kN}$，$F_2=40\mathrm{kN}$，$F_3=50\mathrm{kN}$，各力方向如图 3.15 所示。

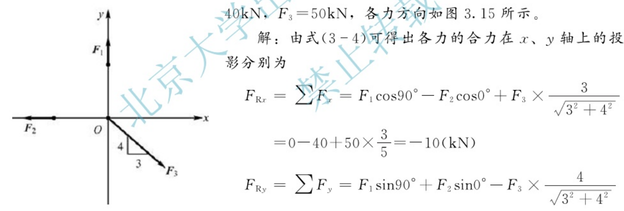


图 3.15　应用案例 3-2 图

解：由式(3-4)可得出各力的合力在 x、y 轴上的投影分别为

$$F_{Rx}=\sum F_x=F_1\cos90°-F_2\cos0°+F_3\times\frac{3}{\sqrt{3^2+4^2}}$$

$$=0-40+50\times\frac{3}{5}=-10(\mathrm{kN})$$

$$F_{Ry}=\sum F_y=F_1\sin90°+F_2\sin0°-F_3\times\frac{4}{\sqrt{3^2+4^2}}$$

$$=20+0-50\times\frac{4}{5}=-20(\mathrm{kN})$$

【案例点评】

用合力投影定理求解平面汇交力系的合力的投影最为方便。

3.1.5 力矩和力偶

1. 力矩

从实践中知道，力对物体的作用效果除了能使物体移动外，还能使物体转动，力矩就是度量力使物体转动效应的物理量。



知识链接

用扳手拧螺母(图 3.16)、用钉锤拔钉子(图 3.17)及用手推门等，都是物体在力的作用下产生转动效应的实例。

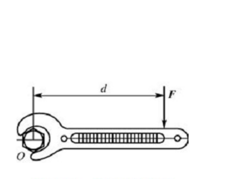


图 3.16 用扳手拧螺母

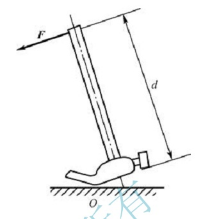


图 3.17 用钉锤拔钉子

实践经验告诉人们：力 $\boldsymbol{F}$ 使物体绕某点 O 的转动效应，不仅与力 $\boldsymbol{F}$ 的大小成正比，而且还与力 $\boldsymbol{F}$ 的作用线到 O 点的垂直距离 d 成正比。可见其大小的乘积 Fd 就可作为这种转动效应强度的度量(图 3.18)。力对物体的转动效应，除了反映它的强度外，还要反映其转向，就平面问题来说，可能产生两种转向相反的转动，即逆时针或顺时针方向的转动。对这两种情况，可采用正负号加以区分。因此，用乘积 Fd 加上正号或负号作为度量力 $\boldsymbol{F}$ 使物体绕 O 点转动效应的物理量，称为力 $\boldsymbol{F}$ 对 O 点的矩，简称力矩。O 点称为矩心，矩心 O 到力 $\boldsymbol{F}$ 的作用线的垂直距离 d 称为力臂。力 $\boldsymbol{F}$ 对 O 点之矩通常用符号 $M_0(F)$ 表示，式(3－5)中，若力使物体产生逆时针方向转动，取正号；反之，取负号。力对点的矩是代数量，即

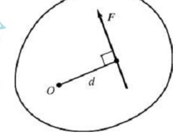


图 3.18 力对点之矩

$$M_0(F)=\pm Fd \tag{3-5}$$

力矩的单位是力与长度的单位的乘积。在国际单位制中，力矩的单位为牛顿·米(N·m)或千牛顿·米(kN·m)。

特别提示

力矩在下列情况下为零：①力等于零；②力臂等于零，即力的作用线通过矩心。

2. 合力矩定理

在计算力对点的力矩时，往往是力臂不易求出，因而直接按定义求力矩难以计算。此时，通常采用的方法是将这个力分解为两个或两个以上便于求出力臂的分力，再由多个分力力矩的代数和求出合力的力矩。这一有效方法的理论根据是合力矩定理，即有 n 个平面汇交力作用于 A 点，则平面汇交力系的合力对平面内任一点之矩，等于力系中各分力对同

一点力矩的代数和，表示为

$$M_0(F_R) = M_0(F_1) + M_0(F_2) + \cdots + M_0(F_n) = \sum_{i=1}^{n} M_0(F_i) \tag{3-6}$$

该定理不仅适用于平面汇交力系，而且可以推广到任意力系。

应用合力矩定理可以简化力矩的计算。在力臂已知或方便求解时，按力矩定义进行计算；在求力对某点力矩时，若力臂不易计算，按合力矩定理求解，可以将此力分解为相互垂直的分力，如两分力对该点的力臂已知，即可方便地求出两分力对该点力矩的代数和，从而求出已知力对该点的力矩。

应用案例 3-3

如图 3.19 所示，$F_1=400\text{N}$，$F_2=200\text{N}$，$F_3=300\text{N}$。试求各力对 O 点的力矩以及合力对 O 点的力矩。

解：F_1 对 O 点的力矩：$M_0(F_1)=F_1d_1=(400\times1)\text{N}\cdot\text{m}=400\text{N}\cdot\text{m}$(↻)

F_2 对 O 点的力矩：$M_0(F_2)=-F_2d_2=(-200\times2\sin30°)\text{N}\cdot\text{m}=-200\text{N}\cdot\text{m}$(↺)

F_3 对 O 点的力矩：$M_0(F_3)=F_3d_3=(300\times0)\text{N}\cdot\text{m}=0\text{N}\cdot\text{m}$

上述 3 个力的合力对 O 点的力矩：$M_0=(400-200+0)\text{N}\cdot\text{m}=200\text{N}\cdot\text{m}$(↻)

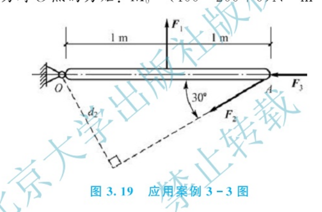


图 3.19　应用案例 3-3 图

3. 力偶

1）力偶的概念

在力学中，由两个大小相等、方向相反、作用线平行而不重合的力 $\boldsymbol{F}$ 和 $\boldsymbol{F}'$ 组成的力系，称为力偶，并用符号($\boldsymbol{F}$，$\boldsymbol{F}'$)来表示。力偶的作用效果是使物体转动。

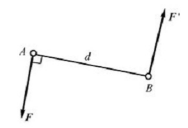


图 3.20　力偶示意图

在日常生活中，汽车司机用双手转动转向盘、钳工用丝锥攻螺纹等都是力偶作用的案例。

力偶中两力作用线间的垂直距离 d 称为力偶臂，如图 3.20 所示。力偶所在的平面称为力偶作用面。

在力偶作用面内，力偶能使物体产生转动，那么力偶对物体的转动效应当如何度量呢？由经验可知，力偶中的力 $\boldsymbol{F}$ 越大，或者力偶臂 d 越大时，力偶对物体的转动效应越强。此外，力偶在平面内的转向不同，其作用效应也不相同。可见在力偶作用面内，力偶对物体的转动效应取决于力偶中力 $\boldsymbol{F}$ 和力臂 d 的乘积的大小以及力偶的转向。在力学中用力 $\boldsymbol{F}$ 的大小与力偶臂 d 的乘积 Fd 加上正号或负号作为度量力偶对物体转动效应的物理量，该物理量称为力偶矩，并用符号 $M(\boldsymbol{F},\boldsymbol{F}')$ 或 M 表示，即

$$M(\boldsymbol{F}, \boldsymbol{F}') = \pm F \cdot d \tag{3-7}$$

式中，对于正负号的规定是：若力偶的转向是逆时针，取正号；反之，取负号。在国际单位制中，力偶矩的单位为牛顿·米(N·m)或千牛顿·米(kN·m)。

2）力偶的性质

(1）力偶在任一坐标轴上的投影等于零。由于力偶在任一轴上的投影等于零，所以力偶对物体不会产生移动效应，只产生转动效应。力偶不能用一个力来代替，即力偶不能简化为一个力，因而力偶也不能和一个力平衡，力偶只能与力偶平衡。

(2）力偶对其作用面内任一点 O 之矩恒等于力偶矩，而与矩心的位置无关，即

$$M(\boldsymbol{F}, \boldsymbol{F}') = M = \pm F \cdot d \tag{3-8}$$

(3）力偶的等效性。在同一平面内的两个力偶，如果它们的力偶矩大小相等，力偶的转向相同，则这两个力偶是等效的。这一性质称为力偶的等效性。图 3.21 所示的各力偶均为等效力偶。

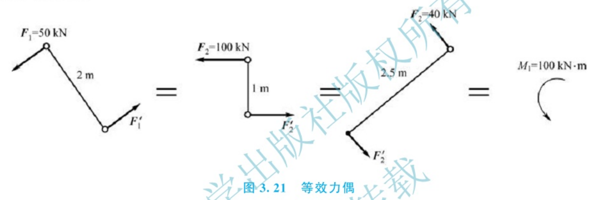


图 3.21 等效力偶

根据力偶的等效性，可以得出以下两个推论。

推论 1 力偶可以在其作用面内任意移转而不改变它对物体的转动效应，即力偶对物体的转动效应与它在作用面内的位置无关。

推论 2 只要保持力偶矩的大小、转向不变，可以同时改变力偶中的力和力偶臂的大小，而不改变它对物体的转动效应。在平面问题中，由于力偶对物体的转动效应完全取决于力偶矩的大小和力偶的转向，所以，力偶在其作用面内除可用两个力表示外，通常还可用一带箭头的弧线来表示，如图 3.22 所示。其中箭头表示力偶的转向，M 表示力偶矩的大小。

M　M

图 3.22 力偶的表示方法

3）平面力偶系的合成

在物体的某一平面内同时作用有两个或两个以上的力偶时，这群力偶就称为平面力偶系。

力偶对物体的作用效应只有转动效应，而转动效应由力偶的大小和转向来度量，因此，力偶系的作用效果也只能是产生转动，其转动效应等于各力偶转动效应的总和。可以证明，平面力偶系合成的结果为一合力偶，其合力偶矩等于各分力偶矩的代数和，即

$$M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = \sum_{i=1}^{n} M_i \tag{3-9}$$

应用案例 3-4

如图 3.23 所示，在物体的某平面内作用 3 个力偶。已知 $F_1=400\text{N}$，$F_2=200\text{N}$，$M=300\text{N}\cdot\text{m}$，求其合成的结果。

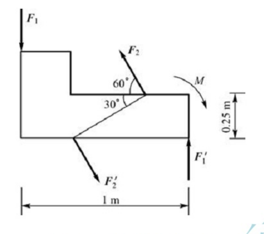


图 3.23　应用案例 3-4 图

解：此共面的 3 个力偶组成平面力偶系，它们合成的结果是一个合力偶。

$$\sum M_i = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = F_1 d_1 + F_2 d_2 - M$$

$$= 400 \times 1 + 200 \times \frac{0.25}{\sin 30^\circ} - 300$$

$$= 200(\text{N}\cdot\text{m}) (\circlearrowright)$$

4. 力的平移定理

由力的性质可知：在刚体内，力沿其作用线平移，其作用效应不改变。如果将力的作用线平行移动到另一个位置，其作用效应将发生改变，原因是力的转动效应与力的位置是直接的关系。生活中用力开门的实际效应与力的大小、方向和位置都有关系。

那么，要想将力平移而又不改变其对物体的运动效果，需要附加什么条件呢？

在图 3.24(a)中，物体上 A 点作用有一个力 $\boldsymbol{F}$，如将此力平移到物体的任意一点 O，而又不改变物体的运动效果，则应根据加减平衡力系公理，在 O 点加上一对平衡力 $\boldsymbol{F}'$ 和 $\boldsymbol{F}''$，使它们的大小与力 $\boldsymbol{F}$ 相等，作用线与力 $\boldsymbol{F}$ 平行，如图 3.24(b)所示。显然，力 $\boldsymbol{F}$ 与 $\boldsymbol{F}''$ 组成了一个力偶($\boldsymbol{F}$，$\boldsymbol{F}''$)，其力偶矩为 $M=Fd=M_O(\boldsymbol{F})$。于是，原作用于 A 点的力 $\boldsymbol{F}$ 就与现在作用在 O 点的力 $\boldsymbol{F}'$ 和力偶($\boldsymbol{F}$，$\boldsymbol{F}''$)等效，即相当于将力 $\boldsymbol{F}$ 平移到 O 点，如图 3.24(c)所示。

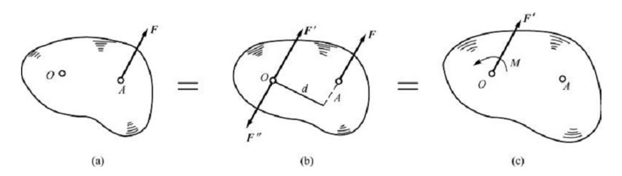


图 3.24　力的平移定理

由此可以得出力的平移定理：作用于刚体上的力 $\boldsymbol{F}$，可以平移到刚体上任意一点 O，但必须附加一个力偶才能与原力等效，附加的力偶矩等于原力 $\boldsymbol{F}$ 对新作用点 O 的矩。

应用力的平移定理可将一个力化为一个力偶。反之，也可将同一平面内的一个力 $\boldsymbol{F}'$ 和一个力偶矩为 M 的力偶合成一个合力，即将图 3.24(c)化为图 3.24(a)，而力 $\boldsymbol{F}$ 就是力 $\boldsymbol{F}'$ 和力偶 M 的合力。力 $\boldsymbol{F}$ 与 $\boldsymbol{F}'$ 大小相等，方向相同，作用线平行，作用线间的垂直距离为 d。

3.1.6 约束与约束反力

1. 约束与约束反力的概念

在工程结构中，每一个构件都和周围的其他构件相互联系着，并且由于受到这些构件的限制不能自由运动。一个物体的运动受到周围物体的限制时，这些周围物体称为该物体的约束。例如，前面所提到的柱就是梁的约束，基础是柱子的约束。

如果没有柱子的限制，梁就会掉下来。柱子要阻止梁的下落，就必须给梁施加向上的力，这种约束给被约束物体的力称为约束反力，简称反力。约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反。

特别提示

实例二中的框架梁受到框架柱的支承而不致下落，框架柱由于受到基础的限制而被固定。

实例一中的楼面大梁受到墙的支承，预制板受到楼面大梁的支承等，其支承均称为“约束”。

在物体上，除约束反力以外，还有能主动引起物体运动或物体产生运动趋势的力，称为主动力。例如，重力、风力、水压力、土压力等都是主动力。主动力在工程中也称为荷载。一般情况下，物体总是同时受到主动力和约束反力的作用。主动力通常是已知的，而约束反力则是未知的。因此，正确地分析约束反力是对物体进行受力分析的关键。

1）柔体约束

用柔软的皮带、绳索、链条阻碍物体运动而构成的约束称为柔体约束。这种约束只能限制物体沿着柔体中心线向柔体张紧方向移动，且柔体约束只能受拉力，不能受压力，所以约束反力一定通过接触点，沿着柔体中心线背离被约束物体的方向，且恒为拉力，如图 3.25 中的力 $\boldsymbol{T}$。

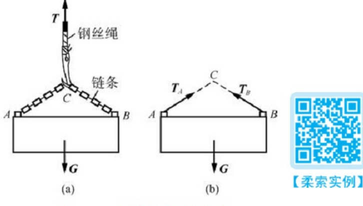


图 3.25 柔体约束及其反力

特别提示

在办公楼和教学楼内用链条悬挂吊灯、施工现场塔式起重机的绳索吊起重物等，都是柔体约束。

2）光滑接触面约束

当两物体在接触面处的摩擦力很小而可略去不计时，就是光滑接触面约束。这种约束不论接触面的形状如何，都不能限制物体沿光滑接触面的方向的运动或离开光滑面，只能限制物体沿着接触面的公法线向光滑面内的运动，所以光滑接触面约束反力是通过接触点，沿着接触面的公法线指向被约束的物体，只能是压力，如图 3.26 中的 $\boldsymbol{F}_{N}$ 所示。

【光滑接触面】

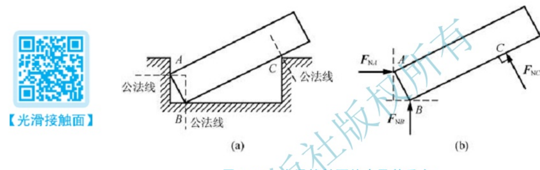


图 3.26　光滑接触面约束及其反力

3）圆柱铰链约束

圆柱铰链简称铰链，它是由一个圆柱形销钉 C 插入两个物体 A 和 B 的圆孔中构成的，并假设销钉与圆孔的面都是完全光滑的，如图 3.27(a)、(b)所示。

【光滑圆柱铰链约束】

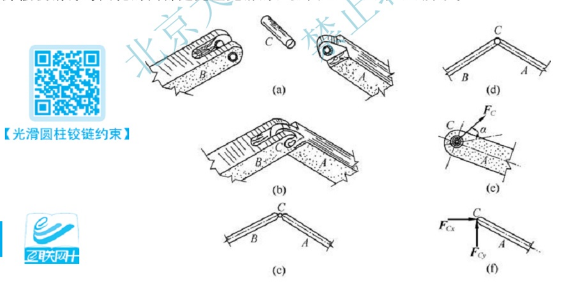


图 3.27　圆柱铰链约束及其反力

圆柱铰链约束只能限制物体在垂直于销钉轴线的平面内沿任意方向的相对移动，而不能限制物体绕销钉作相对转动。圆柱铰链的计算简图如图 3.27(c)、(d)所示。圆柱铰链的约束反力垂直于销钉轴线的平面内，通过销钉中心，而方向未定，可用 $\boldsymbol{F}_{C}$ 来表示，如图 3.27(e)所示。在对物体进行受力分析时，通常将圆柱铰链的约束反力用两个相

互垂直的分力来表示，如图 3.27(f)所示，两分力的指向可以任意假设，是否为实际指向则要根据计算的结果来判断。

4）链杆约束

两端用光滑销钉与其他物体连接而中间不受力的直杆称为链杆。图 3.28(a)所示为建筑物中放置空调用的三角架，其中杆 BC 即为链杆约束。

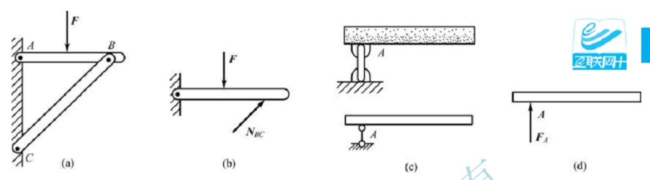


图 3.28 链杆约束及其反力

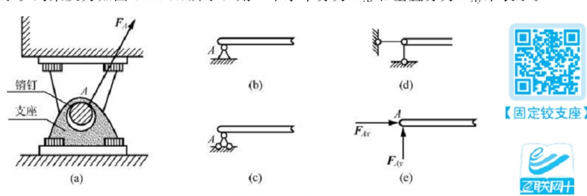
链杆约束计算简图如图 3.28(c)所示。由于链杆只能限制物体沿着链杆中心线的运动，而不能限制其他方向的运动。所以，链杆的约束反力沿着链杆中心线，而指向未定，如图 3.28(b)、(d)所示，图中反力的指向是假设的。

2. 支座的简化和支座反力

工程上将结构或构件连接在支承物上的装置称为支座。工程上常常通过支座将构件支承在基础或另一个静止的构件上。支座对构件就是一种约束。支座对它所支承的构件的约束反力也称支座反力。支座的构造是多种多样的，其具体情况也是比较复杂的，这样就需要加以简化，并归纳成几个类型，以便于分析计算。通过简化，建筑结构的支座通常分为固定铰支座、可动铰支座和固定端支座三类。

1）固定铰支座

将构件用光滑的圆柱形销钉与固定支座连接，则该支座成为固定铰支座，如图 3.29(a)所示。构件与支座用光滑的圆柱铰链连接，构件不能产生沿任何方向的移动，但可以绕销钉转动，可见固定铰支座的约束反力与圆柱铰链相同，即约束反力一定作用于接触点，垂直于销钉轴线，并通过销钉中心，而方向未定。固定铰支座的简图如图 3.29(b)、(c)、(d)所示。约束反力如图 3.29(e)所示，用一个水平分力 $\boldsymbol{F}_{Ax}$ 和垂直分力 $\boldsymbol{F}_{Ay}$ 来表示。



【固定铰支座】

图 3.29 固定铰支座及其反力

特别提示

建筑结构中这种理想的支座是不多见的，通常将不能产生移动只能产生微小转动的支座视为固定铰支座。图 3.30(a)所示为一榀屋架支撑在钢筋混凝土柱上，柱为支座。支座阻止了结构的垂直移动和水平移动，但是它不能阻止结构的微小转动。这种支座可视为固定铰支座，如图 3.30(b)所示。

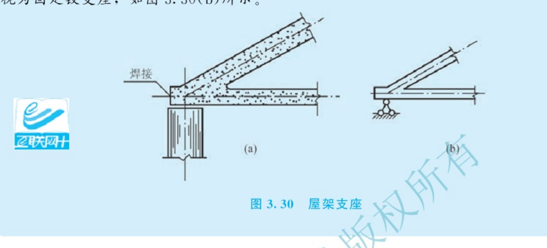


图 3.30 屋架支座

2) 可动铰支座

如果在固定铰支座下面加上辊轴，则该支座成为可动铰支座，如图 3.31(a)所示。可动铰支座的计算简图如图 3.31(b)、(c)所示。这种支座只能限制构件垂直于支承面方向的移动，而不能限制物体绕销钉轴线的转动，其支座反力通过销钉中心，垂直于支承面，而指向未定，如图 3.31(d)所示，图中反力 $\boldsymbol{F}_A$ 的指向是假设的。

【可动铰支座】

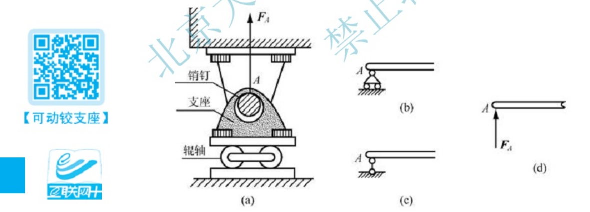


图 3.31 可动铰支座及其反力

如图 3.32(a)所示，实例一中的楼面梁 L1 搁置在砖墙上，砖墙就是梁的支座，如略

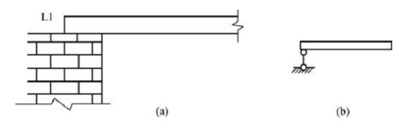


图 3.32 楼面梁 L1 的支座简化

去梁与砖墙之间的摩擦力，则砖墙只能限制梁向下运动，而不能限制梁的转动与水平方向的移动。这样，就可以将砖墙简化为可动铰支座，如图 3.32(b)所示。

3）固定端支座

特别提示

实例二中固结于独立基础 JC－2 的钢筋混凝土柱 KZ1 如图 3.33(a)所示；实例一中屋面挑梁 WTL1 和楼面挑梁 XTL1 等固结于墙中，如图 3.33(c) 所示。它们的固结端就是典型的固定端支座。

固定端支座构件与支承物固定在一起，构件在固定端既不能沿任何方向移动，也不能转动，因此，这种支座对构件除产生水平反力和竖向反力，还有一个阻止转动的力偶。图 3.33(b)和(d)分别是柱和挑梁的固定端支座简图及支座反力。

【固定端支座实例】

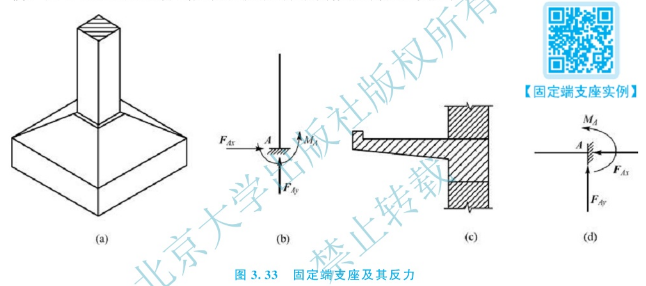


图 3.33 固定端支座及其反力

(a) 柱与基础；(b) 柱的计算简图及支座反力；(c) 挑梁；(d) 挑梁的计算简图及支座反力

3.1.7 受力图

在工程实际中，建筑结构通常是由多个物体或构件相互联系组合在一起的。如实例一的板支承在梁上、梁支承在墙体上、墙支承在基础上。因此，进行受力分析前，必须首先明确要对哪一种物体或构件进行受力分析，即要明确研究对象。为了分析研究对象的受力情况，又必须弄清研究对象与哪些物体有联系，受到哪些力的作用，这些力是什么物体给它的，哪些是已知力，哪些是未知力。为此，需要将研究对象从它周围的物体中分离出来。被分离出来的研究对象称为脱离体。在脱离体上画出周围物体对它的全部主动力和约束反力，这样的图形称为受力图。受力图是对物体进行力学计算的依据，必须认真对待，熟练掌握。

1. 单个物体的受力图

在画单个物体受力图之前，先要明确对象，然后画出研究对象的简图，再将已知的主

动力画在简图上，然后根据约束性质在各相互作用点上画出对应的约束反力。这样，就可得到单个物体的受力图了。

应用案例 3-5

(1) 实例一中的楼面梁 L1 两端支承在墙上，试画出该梁的受力图。

解：梁 L1 放置在墙体上，如图 3.34(a)所示。简化后如图 3.34(b)所示，A 端为固定铰支座，B 端为可动铰支座。根据支座形式，得到如图 3.34(c)所示的受力图。

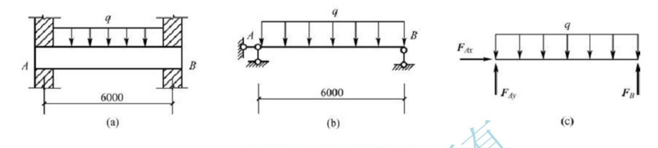


图 3.34 梁 L1 及其受力图

(a) 楼面梁 L1；(b) 梁 L1 计算简图；(c) 受力图

(2) 图 3.35(a)所示的杆 AB 重力为 $\boldsymbol{G}$，在 C 处用绳索拉住，A、B 处分别支在光滑的墙面及地面上。试画出杆 AB 的受力图。

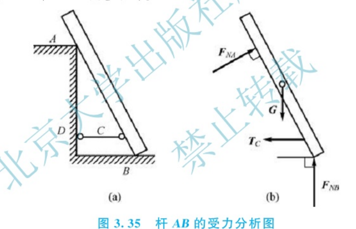


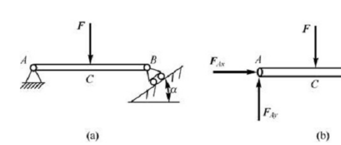
图 3.35 杆 AB 的受力分析图

(a) 斜杆 AB；(b) 受力图

解：以杆 AB 为研究对象，将其单独画出。作用在杆上的主动力是已知的重力 $\boldsymbol{G}$，重力 $\boldsymbol{G}$ 作用在杆的中点，铅垂向下；光滑墙面的约束反力 $\boldsymbol{F}_{NA}$ 通过接触点 A，垂直于杆并指向杆；光滑地面的约束反力 $\boldsymbol{F}_{NB}$，它通过接触点 B 垂直于地面并指向杆；绳索的约束反力是 $\boldsymbol{T}_C$，作用于绳索与杆的接触点 C，沿绳索中心背离杆。杆 AB 的受力图如图 3.35(b)所示。

(3) 水平梁 AB 在跨中 C 处受到集中力 $\boldsymbol{F}$ 的作用，A 端为固定铰支座，B 端为可动铰支座，如图 3.36(a)所示。梁的自重不计，试画出梁 AB 的受力图。

解：取梁 AB 为研究对象，解除约束并将它单独画出。在梁的中点 C 处受到主动力 $\boldsymbol{F}$ 的作用。A 端是固定铰支座，支座反力可用通过铰链中心 A 并且相互垂直的分力 $\boldsymbol{F}_{Ax}$ 和 $\boldsymbol{F}_{Ay}$ 表示。B 端是可动铰支座，支座反力可用通过铰链中心且垂直于支承面的力 $\boldsymbol{F}_B$ 表示。梁 AB 的受力如图 3.36(b)所示。



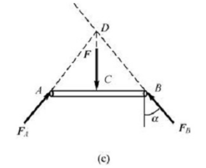


图 3.36　杆 *AB* 的受力分析图

另外，梁 AB 受共面不平行的 3 个力作用而平衡，也可以根据三力平衡汇交定理进行受力分析。已知 $\boldsymbol{F}$、$\boldsymbol{F}_B$ 相交于 D 点，则 $\boldsymbol{F}_A$ 也必沿 A、D 两点的连线通过 D 点，可画出受力图，如图 3.36(c)所示。

2. 物体系统的受力图

物体系统的受力图的画法与单个物体的受力图画法基本相同，区别只在于所取的研究对象可能是整个物体系统或物体系统中的某一部分或某一物体。画整个系统的受力图时，只需将物体系统看作为一个整体，就像对单个物体一样。此外，当需要画出物体系统中某一部分或某个物体的受力图时，要注意被拆开的约束处必须加上相应的约束反力，且约束反力是相互间的作用，也一定遵循作用力与反作用力公理。

知识链接

(1) 梁 AC 和 CD 用铰链 C 连接，并支承在 3 个支座上，A 处为固定铰支座，B、D 处为可动铰支座，受已知力 $\boldsymbol{F}$ 的作用，如图 3.37(a)所示。试画出梁 AC、CD 及整个梁 AD 的受力图。

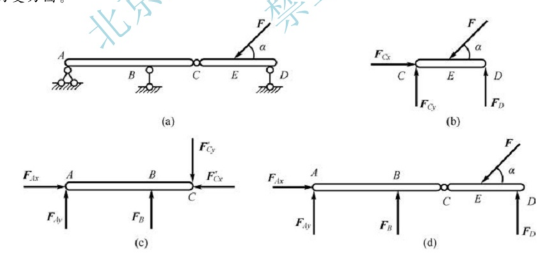


图 3.37　多跨静定梁的受力图

(a) 梁 AD 计算简图；(b) 梁 CD 受力图；(c) 梁 AC 受力图；(d) 梁 AD 受力图

解：① 以梁 CD 为研究对象。梁 CD 上受到的主动力为已知力 $\boldsymbol{F}$；D 处为可动铰支座，其约束反力是垂直于支承面的 $\boldsymbol{F}_D$，其指向假设为向上；C 处为铰接，其反力用两个相互垂直的分力 $\boldsymbol{F}_{Cx}$ 和 $\boldsymbol{F}_{Cy}$ 表示，指向假设，如图 3.37(b)所示。

② 取梁 AC 为研究对象。A 处为固定铰支座，其反力可用 $\boldsymbol{F}_{Ax}$ 和 $\boldsymbol{F}_{Ay}$ 表示；B 处为可动铰支座，其反力可用 $\boldsymbol{F}_{B}$ 表示；C 处为铰接，其反力用两个互相垂直的分力 $\boldsymbol{F}'_{Cx}$ 和 $\boldsymbol{F}'_{Cy}$ 表示，梁 AC 受力图如图 3.37(c)所示。

③ 取整梁 AD 为研究对象。此时，没有解除 AC 和 CD 两段梁之间的铰链约束，故其相互作用力不必画出。因此，作用在整梁上的力有主动力 $\boldsymbol{F}$，A 处固定铰支座的约束反力为 $\boldsymbol{F}_{Ax}$ 和 $\boldsymbol{F}_{Ay}$，B 和 D 两处的可动铰支座的约束反力是 $\boldsymbol{F}_{B}$ 和 $\boldsymbol{F}_{D}$，其受力图如图 3.37(d)所示。

(2) 三铰拱 ABC 如图 3.38(a)所示。C 处为铰链连接，A 和 B 处都是固定铰支座。在拱 AC 上作用有荷载 $\boldsymbol{F}$。若不计拱的自重，试画出拱 AC、BC 及整体的受力图。

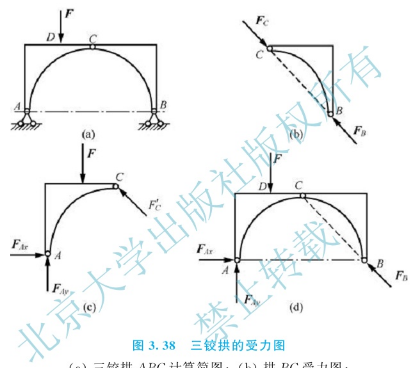


图 3.38　三铰拱的受力图

(a) 三铰拱 ABC 计算简图；(b) 拱 BC 受力图；
(c) 拱 AC 受力图；(d) 三铰拱 ABC 受力图

解：① 画 BC 的受力图。取 BC 为研究对象，由 B 处和 C 处的约束性质可知其约束反力分别通过两铰的中心 B、C，大小和方向未知。但因为 BC 上只受 $\boldsymbol{F}_{B}$ 和 $\boldsymbol{F}_{C}$ 两个力的作用且平衡，它是二力构件，所以 $\boldsymbol{F}_{B}$ 和 $\boldsymbol{F}_{C}$ 的作用线一定沿着两铰中心的链接线 BC，且大小相等、方向相反，其指向是假定的，如图 3.38(b)所示。

② 画 AC 的受力图。取 AC 为研究对象，作用在 AC 上的主动力是已知力 $\boldsymbol{F}$。A 处为固定铰支座，其约束力是 $\boldsymbol{F}_{Ax}$ 和 $\boldsymbol{F}_{Ay}$。C 处通过铰链与 BC 相连，由作用力与反作用力关系可以确定 C 处的约束反力是 $\boldsymbol{F}'_{C}$，它与 $\boldsymbol{F}_{C}$ 大小相等、方向相反，作用在同一条直线上。AC 的受力图如图 3.38(c)所示。

③ 画整体的受力图。将 AC 和 BC 的受力图合并，即得整体的受力图，如图 3.38(d)所示。

想一想：AC、BC 及整体的受力图还有其他画法吗?

特别提示

画受力图时应注意以下几点。

(1) 明确研究对象。首先要明确画哪个物体的受力图,然后将与它相联系的所有约束去掉,单独画出它的简图。

(2) 研究对象受的力要全部画出。在建筑力学中,除重力外,物体之间都是通过直接接触才会出现相互作用的力。因此,凡是研究对象与其他物体连接之处,一般都受到力的作用,千万不要遗漏。

(3) 主动力照原样画出即可。约束反力是由约束的性质和类型确定的,有什么样的约束,必定产生什么样的约束反力,不能根据主动力的方向简单推断。

(4) 注意作用力与反作用力关系。作用力的方向一旦确定,反作用力的方向必定与它相反,不能再随意假设。此外,在以几个物体构成的物体系统为研究对象时,系统中各物体间没有拆开的约束的,约束反力不必画出来。

(5) 同一约束的反力,在各受力图中假设的指向必须一致。

【工程实例】

2008年3月15日,美国纽约曼哈顿一处建筑工地发生吊车高空坠落事故,砸毁附近数座建筑,如图3.39所示,造成至少4人死亡、10多人受伤。这是纽约近年来发生的最严重的建筑施工事故之一。



图 3.39 某建筑工地事故现场

事故发生在当地时间下午2点30分左右,悬在大厦一侧的吊车突然自15层高处落下,造成旁边一座4层建筑物坍塌,其他3座建筑物受损。经初步调查发现,事故原因是工人在安装一个钢质环梁时发生坠落,环梁套在起重机塔身的标准节上,通过撑杆把起重机固定在建筑物的预埋件上,起着固定塔式起重机的作用。该环梁坠落时恰好削断处在低位的一个同样起到支撑起重机作用的撑杆连接点,使起重机失去平衡坠向旁边的建筑物。环梁失去约束作用,没有了约束力,起重机失去平衡倒塌。

3.2 结构的计算简图

3.2.1 结构计算简图概述

在实际结构中，结构的受力和变形情况非常复杂，影响因素也很多，完全按实际情况进行结构计算是不可能的，而且计算过分精确，在工程实际中也是不必要的。为此，在进行结构力学分析之前，应首先将实际结构进行简化，即用一种力学模型来代替实际结构，它能反映实际结构的主要受力特征，同时又能使计算大大简化。这样的力学模型称为结构的计算简图。因此，力学所研究的并非结构实体，而是结构的计算简图。

特别提示

计算简图的选取非常重要，它直接影响计算工作量的大小以及结构分析与实际受力情况之间的差异。计算简图选取不准确将会导致设计结果与实际不符，甚至造成工程事故。因此，应高度重视对计算简图的选取。

1. 结构计算简图的选择原则

(1) 反映结构实际情况——计算简图能正确反映结构的实际受力情况，使计算结果尽可能准确。

(2) 分清主次因素——计算简图可以略去次要因素，使计算简化。

计算简图的简化程度与结构构件的重要性、设计阶段、计算的复杂性及计算工具等许多因素有关。

2. 计算简图的简化方法

一般工程结构是由杆件、结点、支座三部分组成的。要想得出结构的计算简图，就必须对结构的各组成部分进行简化。

1) 结构、杆件的简化

一般的实际结构均为空间结构，而空间结构常常可分解为几个平面结构来计算，结构构件均可用其杆轴线来代替。

2) 结点的简化

杆系结构的结点通常可分为铰结点和刚结点。

(1) 铰结点的简化原则：铰结点上各杆间的夹角可以改变；各杆的铰结点既不承受也不传递弯矩，但能承受轴力和剪力。其简化示意如图 3.40(a)所示。

(2) 刚结点的简化原则：刚结点上各杆间的夹角保持不变，各杆的刚结点在结构变形时转动同一角度；各杆的刚结点既能承受并传递弯矩，又能承受轴力和剪力。其简化示意如图 3.40(b)所示。

3）支座的简化

平面杆系结构的支座常用的有以下三种。

（1）可动铰支座：杆端 A 沿水平方向可以移动，绕 A 点可以转动，但沿支座杆轴方向不能移动，如图 3.41(a)所示。

（2）固定铰支座：杆端 A 绕 A 点可以自由转动，但沿任何方向不能移动，如图 3.41(b)所示。

（3）固定端支座：A 端支座为固定端支座，使 A 端既不能移动，也不能转动，如图 3.41(c)所示。

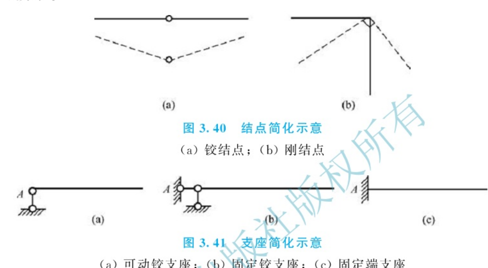


图 3.40　结点简化示意

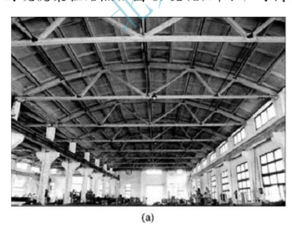
(a) 铰结点；(b) 刚结点

图 3.41　支座简化示意

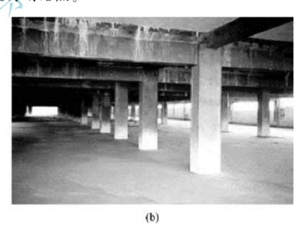
(a) 可动铰支座；(b) 固定铰支座；(c) 固定端支座

【工程实例】

工业厂房中的刚屋架结点如图 3.42(a)所示，可简化为铰结点；钢筋混凝土结构房屋中的现浇梁柱结点如图 3.42(b)所示，可简化为刚结点。



(a)



(b)

图 3.42　结点简化示意

(a)工业厂房；(b)钢筋混凝土房屋

3.2.2　平面杆系结构的分类

平面杆系结构是本书分析的对象，按照它的构造和力学特征，可分为以下五类。


【简支梁】


【悬挑梁】

1. 梁

梁是一种受弯构件，轴线常为一直线，可以是单跨梁，如图3.43(a)、(b)和(c)所示，也可以是多跨梁，如图3.43(d)所示。其支座可以是固定铰支座、可动铰支座，也可以是固定端支座。工程中常见的单跨静定梁有三种形式，即简支梁[图3.43(a)]、悬臂梁[图3.43(b)]和外伸梁[图3.43(c)]。

2. 拱

拱的轴线为曲线，在竖向力的作用下，支座不仅有竖向支座反力，而且还存在水平支座反力，拱内不仅存在剪力、弯矩，而且还存在轴力。由于支座水平反力的影响，拱内的弯矩往往小于同样条件下的梁的弯矩。三铰拱式结构如图3.43(i)所示。

3. 刚架

刚架由梁、柱组成，梁、柱结点多为刚结点。在荷载作用下，各杆件的轴力、剪力、弯矩往往同时存在，但以弯矩为主。图3.43(e)、(f)、(g)、(h)所示分别为简支刚架、悬臂刚架、三铰刚架和组合刚架。

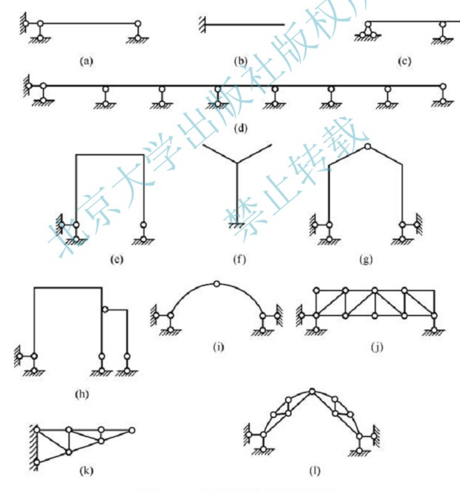


图3.43 不同平面杆系结构简图

(a) 简支梁；(b) 悬臂梁；(c) 外伸梁；(d)连续梁；
(e)简支刚架；(f)悬臂刚架；(g)三铰刚架；(h)组合刚架；(i)三铰架；
(j)简支桁架；(k)悬臂桁架；(l)三铰拱桁架

4. 桁架

桁架是由若干杆件通过铰结点连接起来的结构，各杆轴线为直线，支座常为固定铰支座或可动铰支座。当荷载只作用于桁架节点上时，各杆只产生轴力。图3.43(j)、(k)、(l)所示分别为简支桁架、悬臂桁架、三铰拱桁架。

5. 组合结构

组合结构即结构中一部分是链杆，一部分是梁或刚架，在荷载作用下，链杆中往往只产生轴力，而梁或刚架部分则同时还存在弯矩和剪力。

【实例一解读】

实例一砖混结构施工图中钢筋混凝土梁L2两端支承在墙上，如图3.44(a)所示；梁L4一端支承在墙上，另一端悬挑。梁所承受的预制混凝土板的荷载和梁的自重，可以简化为沿梁跨度方向的均布线荷载q。

为了选择一个较为符合实际的计算简图，先要分析梁在墙上的工作情况，因为梁支承在砖墙上，其两端均不可能产生垂直向下的移动，但在梁弯曲变形时，两端能够产生转动；整个梁不可能在水平方向移动，但在温度变化时，梁端能够产生热胀冷缩。考虑到以上工作特点，可将梁的支座做如下处理：通常在一端墙宽的中点设置固定铰支座，在另一端墙宽的中点设置可动铰支座，用梁的轴线代替梁，所以对梁L2简化就得到了如图3.44(b)所示的计算简图。

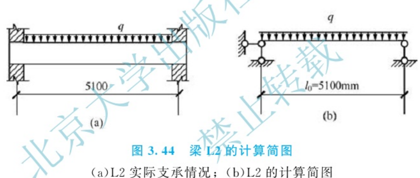


图3.44 梁L2的计算简图

(a)L2实际支承情况；(b)L2的计算简图

特别提示

这个计算简图反映的就是所谓的简支梁，梁L2的两端不可能产生垂直向下的移动，但可转动；左端的固定铰支座限制了梁在水平方向的整体移动；右端的可动铰支座允许梁在水平方向的温度变形。这样的简化既反映了梁的实际工作性能及变形特点，又便于计算。

图3.45所示为梁L4的计算简图，L4为外伸梁。

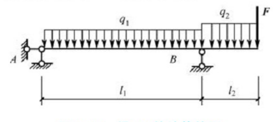


图3.45 梁L4的计算简图

一端是固定端，另一端是自由端的梁称为悬臂梁。实例一中的XTL1计算简图如图3.46所示，属于悬臂梁。

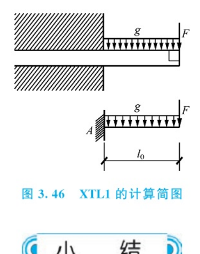


图3.46　XTL1的计算简图

小　结

静力学的基本的知识包括力的基本概念(力的三要素、力的矢量性、力系的概念及分类)、静力学公理(二力平衡公理阐述了二力作用下的平衡条件、作用力和反作用力公理说明了物体之间的相互关系、加减平衡力系公理是力系等效的基础、力的平行四边形法则是力的合成的规律)、力的合成与分解(主要是运用力在坐标轴上的投影对力进行代数运算及合力投影定理)、力矩(力矩就是度量力使物体转动效应的物理量)、力偶(力偶的作用效果是使物体转动)、约束(约束是阻碍物体运动的限制物)、约束反力(约束反力的方向与限制物体运动的方向相反)、受力图(画受力图的步骤：明确分析对象，画出分析对象的分离简图；在分离简图上画出全部主动力；在分离体上画出全部的约束反力，注意约束反力与约束应一一对应)。

在进行结构力学分析之前，对实际结构进行简化，用一种力学模型来代替实际结构，既能反映实际的主要受力特征，又能使计算简化，所以工程力学的研究对象并非结构的实体，而是结构的计算简图。

计算简图简化的方法：结构的杆件均可用其杆轴线来代替；杆系结构的结点，根据连接形式不同，简化为铰结点和刚结点；支座的简化；荷载的简化。



一、选择题(含多项选择题)

1. 力的三要素是(　　)。

A. 力的大小　　B. 力的方向　　C. 力的矢量性　　D. 力的作用点

2. 常见约束有以下哪几种？(　　)

A. 柔体约束　　B. 光滑接触面约束　　C. 链杆　　D. 圆柱铰链约束

3. (　　) 是在描述作用力和反作用力公理。

A. 阐述了二力作用下的平衡条件

B. 物体之间的相互作用关系

C. 力系等效的基础

D. 力的合成的规律

4. 实例二中教学楼的柱与基础的结点可简化为(　　)。

A. 铰结点　　B. 链杆　　C. 刚结点　　D. 接触点

二、判断题

1. 力可以使物体发生各种形式的运动。(　　)

2. 力与力偶可以合成。(　　)

3. 力的投影和力的分解是等效的。(　　)

4. 约束反力的方向与限制物体运动的方向相反。(　　)

5. 当力的作用线通过矩心时，力的转动效应为零。(　　)

三、案例分析题

1. 试将实例一中的梁 L6 进行简化，画出计算简图，并进行受力分析。

2. 图 3.47 所示为现浇钢筋混凝土板式雨篷，试将该雨篷中的雨篷板和雨篷梁进行力学简化，画出计算简图，并进行受力分析。

3. 如图 3.48 所示，试将该房屋结构中的各种结构构件进行力学简化，画出计算简图，并讨论各个构件的受力情况。

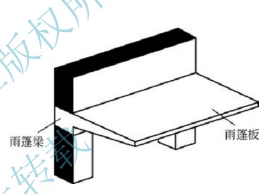


图 3.47　雨篷板和雨篷梁

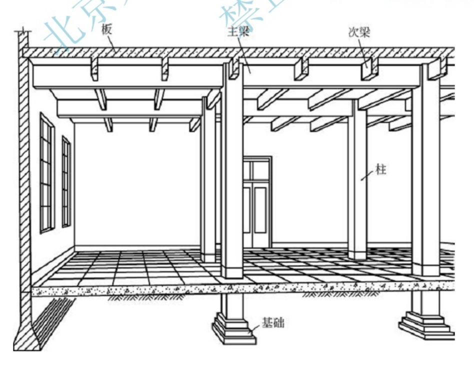


图 3.48　案例分析题 3 图

四、思考题

1. 推小车时，人给小车一个作用力，小车也给人一个反作用力。此二力大小相等、方向相反，且作用在同一直线上，因此二力互相平衡。这种说法对不对？为什么？

2. 同一个力在两个互相平行的轴上的投影是否相等？若两个力在同一轴上的投影相等，这两个力是否一定相等？

3. 为什么用手拔钉子拔不出来，用钉锤很容易就能拔出来？

4. 为什么力偶在任意坐标轴上的投影为零？

五、作图题

1. 试画出图 3.49 中所示的各物体的受力图。假定各接触面都是光滑的。

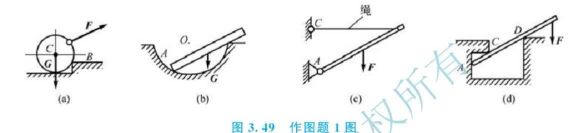


图 3.49　作图题 1 图

2. 试画出图 3.50 中所示的各梁的受力图，梁重不计算。



图 3.50　作图题 2 图

3. 试画出图 3.51 中所示的物体系统各部分及整体的受力图，结构自重不计。

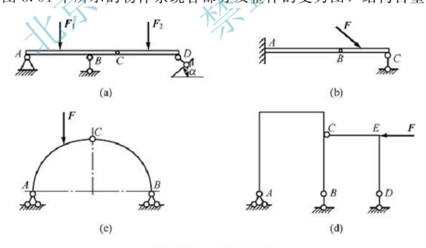


图 3.51　作图题 3 图

六、计算题

1. 已知 $F_1=400\text{N}$，$F_2=200\text{N}$，$F_3=300\text{N}$，$F_4=300\text{N}$。各力的方向如图 3.52 所示。试求每个力在 x、y 轴上的投影。

2. 如图 3.53 所示，支架由杆 AB、AC 构成，A 处是铰链，B、C 两处都是固定铰支座，在 A 点作用有竖直力 $F=100\text{kN}$。求图示 3 种情况下，杆 AB、AC 所受的力。

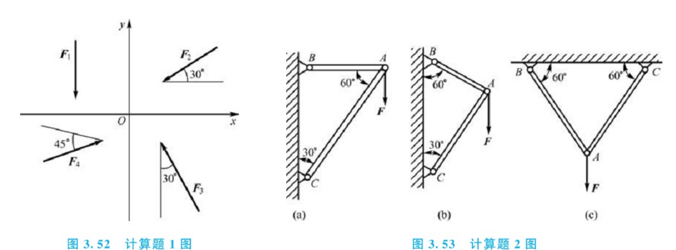


图 3.52　计算题 1 图

图 3.53　计算题 2 图

3. 试求图 3.54 中所示的力 $\boldsymbol{F}$ 对 O 点的力矩。

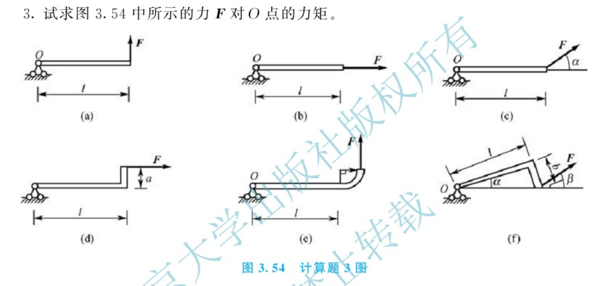


图 3.54　计算题 3 图

4. 分别求出图 3.55 所示力偶的力偶矩，已知：$F_1=F_1'=50\text{N}$，$F_2=F_2'=100\text{N}$，$F_3=F_3'=120\text{N}$；$d_1=50\text{cm}$，$d_2=30\text{cm}$，$d_3=20\text{cm}$。

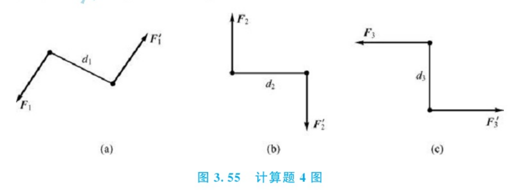


图 3.55　计算题 4 图



模块4 结构构件上的荷载及支座反力计算

教学目标

通过本模块的学习，知道结构上荷载的分类及其代表值的确定，能够进行一般结构上荷载的计算，会利用静力平衡条件求解简单静定结构的支座反力。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
(1) 知道结构上荷载的分类 (2) 会确定荷载代表值 (3) 能够进行一般结构上荷载的计算	结构上荷载的概念，不同荷载的性质；材料的重度，集中力、线荷载、均布面荷载等荷载形式，以及荷载的代表值	60%
(1) 掌握静力平衡条件 (2) 会进行支反力计算	平面力系平衡条件；构件的支座与约束反力的计算，静定结构与超静定结构的概念	40%

学习重点

一般结构上荷载的计算，利用平衡条件求解简单静定结构的支座反力。

引例

实例一和实例二中，教室的楼盖由梁和板组成，其上有家具和人群等荷载，其自身重量和外加荷载由梁和板承受，并通过梁、板传递到墙上，墙就是梁的支座，那么梁和板上的荷载是多少？由于荷载总是变化的，怎样取值才能保证结构及结构构件的可靠性？同时，梁和板传到支座的压力是多少？支座反力又是多少？这些都是要解决的问题。

4.1 结构上的荷载

4.1.1 荷载的分类

建筑结构在施工与使用期间要承受各种作用，如人群、风、雪及结构构件的自重等，这些外力直接作用在结构物上；还有温度变化、地基不均匀沉降等间接作用在结构上。直接作用在结构上的外力称为荷载。

（1）荷载按作用时间的长短和性质可分为三类：永久荷载、可变荷载和偶然荷载。

① 永久荷载是指在结构设计使用期内，其值不随时间而变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计，或其变化是单调的并能趋于限值的荷载，如结构的自重、土压力、预应力等荷载。永久荷载又称恒荷载。

② 可变荷载是指在结构设计使用期内，其值随时间而变化，或其变化与平均值相比不可忽略的荷载，如楼面活荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载等。可变荷载又称活荷载。

③ 偶然荷载是指在结构设计使用期内不一定出现，一旦出现，其值很大且持续时间很短的荷载，如爆炸力、撞击力等。



【美国“9・11事件”】

（2）荷载按结构的反应特点分为两类：静态荷载和动态荷载。

① 静态荷载，使结构产生的加速度可以忽略不计的作用，如结构自重、住宅和办公楼的楼面活荷载等。

② 动态荷载，使结构产生的加速度不可忽略不计的作用，如地震、吊车荷载、设备振动等。

（3）荷载按作用位置荷载可分为两类：固定荷载和移动荷载。

① 固定荷载是指作用位置不变的荷载，如结构的自重等。

② 移动荷载是指可以在结构上自由移动的荷载，如车轮压力等。


【材料自重表】

4.1.2 荷载的分布形式

1. 材料的重度

某种材料单位体积的重量(kN/m^3)称为材料的重力密度，即重力密度，用 γ 表示，详见附录 C 表 C1。

特别提示

如工程中常用水泥砂浆的重力密度是 $20kN/m^3$，石灰砂浆的重力密度是 $17kN/m^3$，钢筋混凝土的重力密度是 $25kN/m^3$，砖的重力密度是 $19kN/m^3$。

2. 均布面荷载

在均匀分布的荷载作用面上，单位面积上的荷载值称为均布面荷载，其单位为 kN/m^2 或 N/m^2，图 4.1 所示为板的均布面荷载。

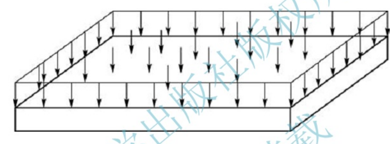


图 4.1　板的均布面荷载

特别提示

一般板上的自重荷载为均布面荷载，其值为重力密度乘以板厚。

如一矩形截面板，板长为 L(m)，板宽度为 B(m)，截面厚度为 h(m)，重力密度为 γ (kN/m^3)，则此板的总重力 $G=\gamma BLh$；板的自重在平面上是均匀分布的，所以单位面积的自重 $g_k=\frac{G}{BL}=\frac{\gamma BLh}{BL}=\gamma h(kN/m^2)$。$g_k$ 值就是板自重简化为单位面积上的均布荷载标准值。

3. 均布线荷载

沿跨度方向单位长度上均匀分布的荷载称为均布线荷载，其单位为 kN/m 或 N/m。图 4.2 所示为梁上的均布线荷载。

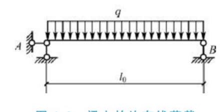


图 4.2　梁上的均布线荷载

特别提示

一般梁上的自重荷载为均布线荷载，其值为重力密度乘以横截面面积。

如一矩形截面梁，梁长为 $L(\mathrm{m})$，其截面宽度为 $b(\mathrm{m})$，截面高度为 $h(\mathrm{m})$，重力密度为 $\gamma(\mathrm{kN/m^3})$，则此梁的总重力 $G=\gamma bhL$；梁的自重沿跨度方向是均匀分布的，所以沿梁轴每米长度的自重 $g_k=\dfrac{G}{L}=\dfrac{\gamma bhL}{L}=\gamma bh(\mathrm{kN/m})$。$g_k$ 值就是梁自重简化为沿梁轴方向的均布荷载标准值，均布线荷载 g_k 也称线荷载集度。

4. 非均布线荷载

沿跨度方向单位长度上非均匀分布的荷载称为非均布线荷载，其单位为 kN/m 或 N/m，图 4.3(a)所示的挡土墙的土压力即为非均布线荷载。

5. 集中荷载(集中力)

集中地作用于一点的荷载称为集中荷载(集中力)，其单位为 kN 或 N，通常用 $\boldsymbol{G}$ 或 $\boldsymbol{F}$ 表示，图 4.3(b)所示的柱子自重即为集中荷载。

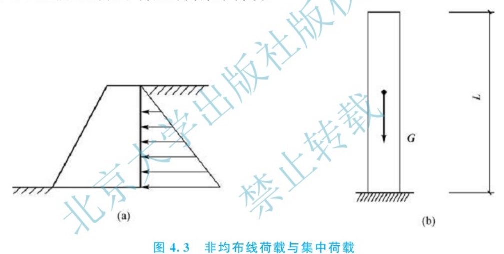


图 4.3 非均布线荷载与集中荷载

(a) 挡土墙的土压力；(b) 柱子的自重

特别提示

一般柱子的自重荷载为集中力，其值为重力密度乘以柱子的体积，即 $G=\gamma bhL$。



知识链接

均布面荷载化为均布线荷载的计算

在工程计算中，板面上受到均布面荷载 $q'(\mathrm{kN/m^2})$时，它传给支撑梁的为线荷载，梁沿跨度(轴线)方向均匀分布的线荷载如何计算？

实例一：设板上受到均匀的面荷载 $q'(\mathrm{kN/m^2})$作用，板跨度为 3.3m(受荷宽度)、L2

梁跨度为5.1m，如图4.4所示。那么，梁L2上受到的全部荷载 $q=q'\times 3.3+$ 梁L2自重(kN/m)，而荷载 q 是沿梁的跨度均匀分布的。

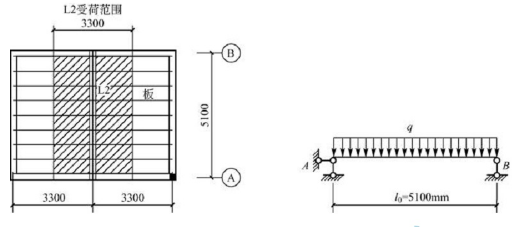


图4.4 板上的荷载传给梁示意图

4.1.3 荷载的代表值

在后续进行结构设计时，对荷载应赋予一个规定的量值，该量值即所谓荷载代表值。永久荷载采用标准值为代表值，可变荷载采用标准值、组合值、频遇值或准永久值为代表值。

1. 荷载标准值

荷载标准值是荷载的基本代表值，为设计基准期内(50年)最大荷载统计分布的特征值，是指其在结构使用期间可能出现的最大荷载值。

(1) 永久荷载标准值(G_k)是永久荷载的唯一代表值。对于结构自重可以根据结构的设计尺寸和材料的重力密度确定，《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012) 中列出了常用材料和构件自重，见附录C表C1。

应用案例4-1

实例一中矩形截面钢筋混凝土梁L2，计算跨度为5.1m，截面尺寸为 $b=250$mm，$h=500$mm，求该梁自重(即永久荷载)标准值。

解：梁自重为均布线荷载的形式，梁自重标准值应按照 $g_k=\gamma bh$ 计算，其中钢筋混凝土的重力密度 $\gamma=25\text{kN/m}^3$，$b=250$mm，$h=500$mm，故

$$\text{梁自重标准值 } g_k=\gamma bh=25\times 0.25\times 0.5=3.125(\text{kN/m})$$

特别提示

> 计算过程中应注意物理量单位的换算。
> 梁的自重标准值用 g_k 表示。

应用案例4-2

实例一中楼面做法为：30mm水磨石地面，120mm钢筋混凝土空心板(折算为80mm厚的实心板)，板底石灰砂浆粉刷厚20mm，求楼板自重标准值。

解：板自重为均布面荷载的形式，其楼面做法中每一层标准值均应按照 $g_k=\gamma h$ 计算，然后把 3 个值加在一起就是楼板的自重标准值。

查附 C 表 C1 得：30mm 水磨石地面的面荷载为 0.65kN/m²，钢筋混凝土的重力密度 $\gamma_2=25\text{kN/m}^3$，石灰砂浆的重力密度 $\gamma_3=17\text{kN/m}^3$，故

楼面做法：	
30mm 水磨石地面	0.65kN/m²
120mm 空心板自重	25×0.08=2(kN/m²)
板底粉刷	17×0.02=0.34(kN/m²)
板每平方米总重力(面荷载)标准值：	$g_k=2.99\text{kN/m}^2$

应用案例 4-3

实例一中钢筋混凝土梁 L5(7)，截面尺寸 $b=200\text{mm}$，$h=300\text{mm}$，且梁上放置 120mm 厚、1.2m 高的栏杆，栏杆两侧 20mm 厚石灰砂浆抹面，求作用在梁上的永久荷载标准值。

解：经分析，梁 L5(7)的自重及作用在梁上的栏杆、石灰砂浆抹面为梁的永久荷载，荷载计算如下。

查附录 C 表 C1 得：钢筋混凝土的重力密度 $\gamma_1=25\text{kN/m}^3$，石灰砂浆的重力密度 $\gamma_2=17\text{kN/m}^3$，故

梁 L5(7)的自重	25×0.2×0.3=1.5(kN/m)
梁上的栏杆及石灰砂浆抹面	1.2×(0.12×19+0.02×17×2)=3.552(kN/m)
梁上的永久荷载标准值：	$g_k=5.052\text{kN/m}$

(2) 可变荷载标准值(Q_k)由设计使用年限内最大荷载概率分布的某个分位值确定，是可变荷载的最大荷载代表值，由统计获得。我国《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)对于楼(屋)面活荷载、雪荷载、风荷载、吊车荷载等可变荷载标准值规定了具体的数值，设计时可直接查用。

① 楼(屋)面可变荷载标准值见附录 C 表 C2。

特别提示

根据附录 C 表 C2，查得实例二中教学楼教室的楼面活荷载标准值为 2.5kN/m²；楼梯活荷载标准值为 3.5kN/m²。

② 风荷载标准值(w_k)，风受到建筑物的阻碍和影响时，速度会改变，并在建筑物表面上形成压力和吸力，即为建筑物所受的风荷载。根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)相关规定，风荷载标准值(w_k)按下式计算。

$$w_k=\beta_z\mu_s\mu_z w_0 \tag{4-1}$$

式中，w_k——风荷载标准值(kN/m²)；

β_z——高度 z 处的风振系数，它是考虑风压脉动对结构产生的影响，按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)规定的方法计算；

μ_s——风荷载体型系数，见《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)；

μ_z——风压高度变化系数，见《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)；

w_0——基本风压(kN/m^2)是以当地平坦空旷地带，10m 高处统计得到的 50 年一遇 10min 平均最大风速为标准确定的，按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)中“全国基本风压分布图”查用。

③ 此外雪荷载标准值、施工及检修荷载标准值见《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)相关规定取值。

知识链接

应用实例一中根据上述风荷载计算方法，确定出框架结构上的风荷载，如图 4.5 所示。

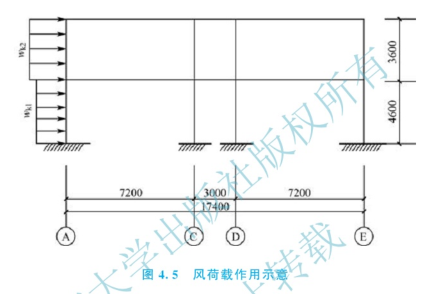


图 4.5 风荷载作用示意

2. 可变荷载组合值

当结构上同时作用有两种或两种以上可变荷载时，由于各种可变荷载同时达到其最大值(标准值)的可能性极小，因此计算时采用可变荷载组合值。所谓荷载组合值是将除多种可变荷载中的第一个可变荷载(或称主导荷载，即产生最大荷载效应的荷载)仍以其标准值作为代表值外，其他均采用可变荷载的组合值进行计算，即将它们的标准值乘以小于 1 的荷载组合值系数作为代表值，称为可变荷载的组合值，用 Q_c 表示，即

$$Q_c = \psi_c Q_k \tag{4-2}$$

式中，Q_c——可变荷载组合值；

Q_k——可变荷载标准值；

ψ_c——可变荷载组合值系数，一般楼面活荷载、雪荷载取 0.7，风荷载取 0.6，其他可变荷载取值见附录 C 表 C2 和表 C3。

3. 可变荷载频遇值

可变荷载频遇值是指结构上时而出现的较大荷载。对可变荷载，在设计基准期内，其超越的总时间为规定的较小比率或超越频率为规定频率的荷载值。可变荷载频遇值总是小于荷载标准值，其值取可变荷载标准值乘以小于 1 的荷载频遇值系数，用 Q_f 表示，即

$$Q_f = \psi_f Q_k \tag{4-3}$$

式中，Q_f——可变荷载频遇值；

ψ_f——可变荷载频遇值系数，取值见附录C表C2和表C3。

4. 可变荷载准永久值

可变荷载准永久值是指可变荷载中在设计基准期内经常作用(其超越的时间约为设计基准期一半)的可变荷载。在规定的期限内有较长的总持续时间，也就是经常作用于结构上的可变荷载。其值取可变荷载标准值乘以小于1的荷载准永久值系数，用Q_q表示，即

$$Q_q = \psi_q Q_q \tag{4-4}$$

式中，Q_q——可变荷载准永久值；

ψ_q——可变荷载准永久值系数，取值见附录C表C2和表C3。

4.1.4 荷载分项系数及荷载设计值

1. 荷载分项系数

荷载分项系数用于结构承载力极限状态设计中，目的是保证在各种可能的荷载组合出现时，结构均能维持在相同的可靠度水平上。荷载分项系数又分为永久荷载分项系数γ_G和可变荷载分项系数γ_Q，其值见表4-1。

表4-1　基本组合的荷载分项系数

永久荷载分项系数 γ_G				可变荷载分项系数 γ_Q	
其效应对结构不利时		其效应对结构有利时			
由可变荷载效应控制的组合	1.2	一般情况	1.0	一般情况	1.4
由永久荷载效应控制的组合	1.35	对结构的倾覆、滑移或漂浮验算	0.9	对标准值大于4kN/m² 的工业房屋楼面结构的荷载	1.3

2. 荷载设计值

一般情况下，荷载标准值与荷载分项系数的乘积为荷载设计值，也称设计荷载，其数值大体上相当于结构在非正常使用情况下荷载的最大值，它比荷载的标准值具有更大的可靠度。永久荷载设计值为$\gamma_G G_k$；可变荷载设计值为$\gamma_Q Q_k$。

应用案例4-4

实例二中，现浇钢筋混凝土楼面板板厚$h=100$mm，板面做法选用8～10mm厚地砖，25mm厚干硬水泥砂浆，素水泥浆，其面荷载标准值合计为0.7kN/m²，板底采用20mm厚石灰砂浆粉刷，永久荷载及可变荷载分项系数分别为1.2和1.4，确定楼面永久荷载设计值和可变荷载设计值。

解：(1)永久荷载标准值。

板自重	$25\times0.10=2.5(\text{kN/m}^2)$
楼面做法自重	0.7kN/m^2
板底粉刷自重	$17\times0.02=0.34(\text{kN/m}^2)$

板每平方米总重力(面荷载)标准值：$g_k=3.54\text{kN/m}^2$

(2) 永久荷载设计值。

$$g=\gamma_G g_k=1.2\times3.54=4.248(\mathrm{kN/m^2})$$

(3) 可变荷载标准值。

查附录C表C2知：教学楼可变荷载标准值为 $q_k=2.5\mathrm{kN/m^2}$(面荷载)。

(4) 可变荷载设计值。

$$q=\gamma_q q_k=1.4\times2.5=3.5(\mathrm{kN/m^2})$$

4.2 静力平衡条件及构件支座反力计算

物体在力系的作用下处于平衡时，力系应满足一定的条件，这个条件称为力系的平衡条件。

4.2.1 平面力系的平衡条件

1. 平面任意力系的平衡条件

在前面的力学概念可以知道，一般情况下平面力系与一个力及一个力偶等效。若与平面力系等效的力和力偶均等于零，则原力系一定平衡。则平面任意力系平衡的必要和充分条件是：力系中所有各力在两个坐标轴上的投影的代数和等于零，力系中所有各力对于任意一点 O 的力矩的代数和等于零。

由此得平面任意力系的平衡方程为

$$\sum F_x=0 \tag{4-5}$$

$$\sum F_y=0 \tag{4-6}$$

$$\sum M_0(F)=0 \tag{4-7}$$

特别提示

$\sum F_x=0$ 即力系中所有力在 x 方向的投影的代数和等于零；$\sum F_y=0$ 即力系中所有力在 y 方向的投影的代数和等于零；$\sum M_0(F)=0$ 即力系中所有力对任意一点 O 的力矩的代数和等于零。

平面任意力系的平衡方程还有另外两种形式。

(1) 二矩式：

$$\sum F_x=0 \tag{4-8}$$

$$\sum M_A(F)=0 \tag{4-9}$$

$$\sum M_B(F)=0 \tag{4-10}$$

其中，A、B 两点之间的连线不能垂直于 x 轴。

（2）三矩式：$\sum M_A(F) = 0$ （4-11）

$$\sum M_B(F) = 0 \quad (4-12)$$

$$\sum M_C(F) = 0 \quad (4-13)$$

其中，A、B、C 三点不能共线。

2. 几种特殊情况的平衡方程

（1）平面汇交力系。

若平面力系中的各力的作用线汇交于一点，则此力系称为平面汇交力系。根据力系的简化结果可知，汇交力系与一个力(力系的合力)等效；由平面任意力系的平衡条件可知，平面汇交力系平衡的充分和必要条件是力系的合力等于零，即

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

（2）平面平行力系。

若平面力系中的各力的作用线均相互平行，则此力系为平面平行力系。显然，平面平行力系是平面力系的一种特殊情况，由平面力系的平衡方程推出，由于平面平行力系在某一坐标轴 x 轴(或 y 轴)上的投影均为零，因此，平衡方程为

$$\sum F_y = 0 (\text{或} \sum F_x = 0)$$

$$\sum M_O(F) = 0$$

当然，平面平行力系的平衡方程也可写成二矩式，即

$$\sum M_A(F) = 0$$

$$\sum M_B(F) = 0$$

其中，A、B 两点之间的连线不能与各力的作用线平行。

4.2.2 构件的支座反力计算

求解构件支座反力的基本步骤如下。

（1）以整个构件为研究对象进行受力分析，绘制受力图。

（2）建立 xOy 直角坐标系。

（3）依据静力平衡条件，根据受力图建立静力平衡方程，求解方程，得支座反力。

特别提示

xOy 直角坐标系，一般假定 x 轴以水平向右为正，y 轴以竖直向上为正。

绘制受力图时，支座反力均假定为正方向。

求解出支座反力后，应标明其实际受力方向。

应用案例 4-5

图 4.6(a)所示的简支梁，计算跨度为 l_0，承受的均布荷载为 q，求梁的支座反力。

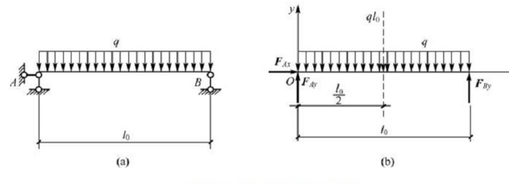


图 4.6 梁的支座反力计算

(a)计算简图；(b)受力图

解：(1) 以梁为研究对象进行受力分析，绘制受力图，如图 4.6(b)所示。

(2) 建立如图 4.6(b)所示的直角坐标系。

(3) 建立平衡方程，求解支座反力。

$$\sum F_x = 0，F_{Ax} = 0$$

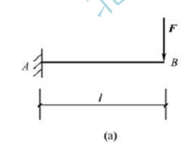
$$\sum F_y = 0，F_{Ay} - ql_0 + F_{By} = 0$$

$$\sum M_A = 0，F_{By}l_0 - ql_0 \times \frac{l_0}{2} = 0$$

解得：$F_{Ax}=0$，$F_{Ay}=F_{By}=\frac{1}{2}ql_0$(↑)

应用案例 4-6

如图 4.7(a)所示的悬臂梁，计算跨度为 l，承受的集中荷载设计值为 $\boldsymbol{F}$，求支座反力。



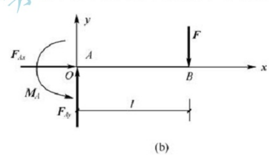


图 4.7 悬臂梁受力图

(a)计算简图；(b)受力图

解：(1) 以梁为研究对象进行受力分析，绘制受力图，如图 4.7(b)所示。

(2) 建立如图 4.7(b)所示的直角坐标系。

(3) 建立平衡方程，求解支座反力。

$$\sum F_x = 0，F_{Ax} = 0$$

$$\sum F_y = 0，F_{Ay} - F = 0$$

$$\sum M_A = 0,\ M_A - Fl = 0$$

解得：$F_{Ax}=0$，$F_{Ay}=F(\uparrow)$，$M_A=Fl(\frown)$

应用案例 4-7

图 4.8(a)所示的简支梁，计算跨度为 l，承受的集中荷载设计值为 $\boldsymbol{F}$，作用在跨中 C 点，求简支梁的支座反力。

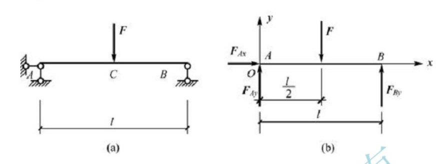


图 4.8　简支梁受力图

(a)计算简图；(b)受力图

解：(1) 以梁为研究对象进行受力分析，绘制受力图，如图 4.8(b)所示。

(2) 建立如图 4.8(b)所示的直角坐标系。

(3) 建立平衡方程，求解支座反力。

$$\sum F_x = 0,\ F_{Ax} = 0$$

$$\sum F_y = 0,\ F_{Ay} - F + F_{By} = 0$$

$$\sum M_A = 0,\ F_{By} \times l - F \times \frac{l}{2} = 0$$

解得：$F_{Ax}=0$，$F_{Ay}=F_{By}=\dfrac{F}{2}(\uparrow)$

应用案例 4-8

如图 4.9(a)所示的外伸梁，简支跨计算跨度为 l_1，承受的均布荷载为 q_1；外伸跨计算跨度为 l_2，承受的均布荷载为 q_2，承受的集中荷载值为 $\boldsymbol{F}$，求外伸梁的支座反力。

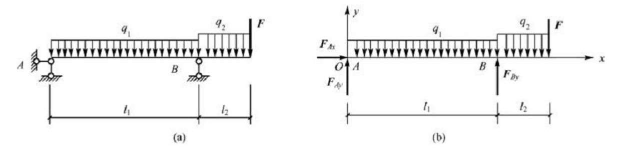


图 4.9　外伸梁受力图

(a)计算简图；(b)受力图

解：(1)以梁为研究对象进行受力分析，绘制受力图，如图 4.9(b)所示。

(2) 建立如图 4.9(b)所示的直角坐标系。

(3) 建立平衡方程，求解支座反力。

$$\sum F_x = 0,\ F_{Ax} = 0$$

$$\sum F_y = 0,\ F_{Ay} - q_1 l_1 - q_2 l_2 + F_{By} - F = 0$$

$$\sum M_A = 0,\ F_{By} l_1 - \frac{1}{2} q_1 l_1^2 - q_2 l_2 (l_1 + \frac{l_2}{2}) - F(l_1 + l_2) = 0$$

解得：$F_{Ax}=0$

$$F_{Ay}=\frac{q_1 l_1}{2}-\frac{q_2 l_2^2}{2l_1}-\frac{Fl_2}{l_1}(\uparrow)$$

$$F_{By}=\frac{q_1 l_1}{2}+q_2 l_2+\frac{q_2 l_2^2}{2l_1}+F+\frac{Fl_2}{l_1}(\uparrow)$$

综合应用案例 4-1

实例一中钢筋混凝土矩形截面梁 L1 如图 4.10(a)所示，已知楼面做法为：30mm 水磨石地面，120mm 钢筋混凝土空心板，板底石灰砂浆粉刷、厚 20mm，梁的跨度 $l_0=6000$mm，梁的截面宽度 $b=250$mm，截面高度 $h=500$mm，梁两侧 20mm 石灰砂浆粉刷，求梁 L1 的恒荷载标准值及活荷载标准值产生的支座反力。

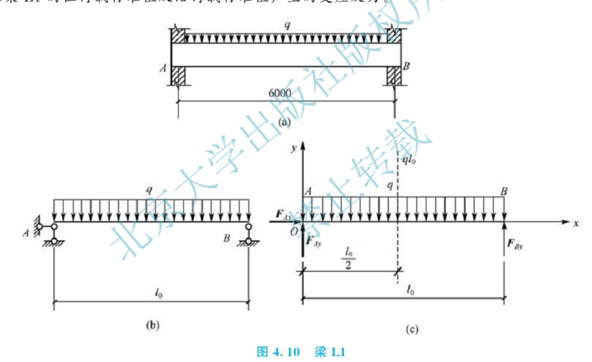


图 4.10 梁 L1

(a)梁 L1；(b) 计算简图；(c) 受力图

解：(1) 确定计算简图。按照模块 3 的内容，梁 L1 简化为简支梁，其计算简图如图 4.10(b)所示。

(2) 荷载计算。

① 楼面荷载标准值。

楼面做法：30mm 水磨石地面	0.65kN/m^2
120mm 空心板自重	25×0.08=2(kN/m^2)
板底粉刷	17×0.02=0.34(kN/m^2)
楼面荷载标准值：	2.99kN/m^2

板传给梁的恒荷载标准值 2.99×3.3=9.867 kN/m(梁的受荷范围是 3.3m)

② 梁 L1 自重　　25×0.25×0.5=3.125(kN/m)

两侧粉刷　　2×17×0.5×0.02=0.34(kN/m)

则梁 L1 上的恒荷载标准值 $g_k=9.867+3.125+0.34=13.332$(kN/m)

③ 查附录 C 表 C2 知：办公楼楼面可变荷载标准值为 2kN/m²

则梁 L1 上的活荷载标准值 $q_k=2\times3.3=6.6$kN/m(大梁的受荷范围是 3.3m)

(3) 求解支座反力。以梁为研究对象进行受力分析，绘制受力图，如图 4.10(c)所示，建立如图 4.10(c)所示的直角坐标系，依据平衡条件建立平衡方程

$$\sum F_x=0，F_{Ax}=0$$

$$\sum F_y=0，F_{Ay}-ql_0+F_{By}=0$$

$$\sum M_A=0，F_{By}l_0-ql_0\times\frac{l_0}{2}=0$$

解得：$F_{Ax}=0，F_{Ay}=F_{By}=\frac{1}{2}ql_0(\uparrow)$

(4) 恒载标准值产生的支座反力：$F_{Ax}=0，F_{Ay}=F_{By}=\frac{g_k l_0}{2}=39.996$kN(↑)

活载标准值产生的支座反力：$F_{Ax}=0，F_{Ay}=F_{By}=\frac{q_k l_0}{2}=19.8$kN(↑)

知识链接

图 4.11 所示梁的受荷范围取相邻两开间各一半。

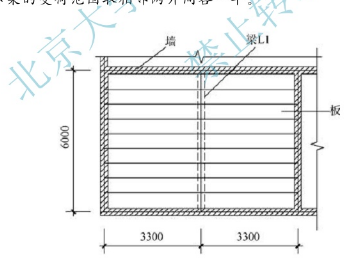


图 4.11　梁的受荷范围

综合应用案例 4-2

如图 4.12 所示的外伸梁 L4(1A)，若内跨度 $l_1=6000$mm，截面宽度 $b=250$mm，截面高度 $h=500$mm；外伸跨度 $l_2=2220$mm，变截面端部取 $b=250$mm，$h=300$mm，计算简图如图 4.12(a)所示，求恒荷载标准值产生的支座反力。

解：(1)荷载计算。

① 内跨：梁上均布线荷载标准值同 L1。

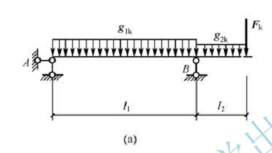
$$g_{1k}=13.332\text{kN/m}$$

② 外伸部分。

楼面做法：30mm 水磨石地面	0.65kN/m^2
120mm 空心板自重	$25\times0.08=2(\text{kN/m}^2)$
板底粉刷	$17\times0.02=0.34(\text{kN/m}^2)$
楼面恒荷载标准值：	2.99kN/m^2
梁平均高度为	$\frac{500+300}{2}=400(\text{mm})$
梁的自重为	$25\times0.25\times0.4=2.5(\text{kN/m})$
两侧粉刷为	$2\times17\times0.4\times0.02=0.272(\text{kN/m})$

则梁上的恒荷载标准值 $g_{2k}=2.99\times3.3+2.5+0.272=12.639(\text{kN/m})$

同时，L5 传来集中力标准值(应用案例 4-3 已计算出)$F_k=5.052\times3.3=16.665(\text{kN/m})$



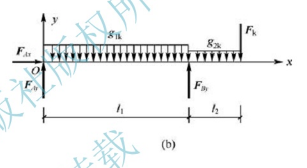


图 4.12 外伸梁 L4(1A)受力图

(a) 计算简图；(b) 受力图

(2) 求解支座反力。以梁为研究对象进行受力分析，绘制受力图，如图 4.13(b)所示，建立如图 4.13(b)所示的直角坐标系，依据平衡条件建立平衡方程

$$\sum F_x=0,\ F_{Ax}=0$$

$$\sum F_y=0,\ F_{Ay}-g_{1k}l_1-g_{2k}l_2+F_{By}-F_k=0$$

$$\sum M_A=0,\ F_{By}l_1-\frac{1}{2}g_{1k}l_1^2-g_{2k}l_2(l_1+\frac{l_2}{2})-F_k(l_1+l_2)=0$$

解得：$F_{Ax}=0$

$$F_{By}=\frac{1}{2}g_{1k}l_1+g_{2k}l_2(1+\frac{l_2}{2l_1})+F_k(1+\frac{l_2}{l_1})$$

$$=\frac{1}{2}\times13.332\times6+12.639\times2.22\times(1+\frac{2.22}{2\times6})+16.665\times(1+\frac{2.22}{6})$$

$$=96.086(\text{kN})\ (\uparrow)$$

$$F_{Ay}=g_{1k}l_1+g_{2k}l_2-F_{By}+F_k$$

$$=13.332\times6+12.629\times2.22-95.675+16.665=28.637(\text{kN})\ (\uparrow)$$

小　结

（1）按作用时间的长短和性质，荷载可分为三类：永久荷载、可变荷载和偶然荷载。

（2）永久荷载的代表值是荷载标准值，可变荷载的代表值有荷载标准值、组合值、频遇值和准永久值；荷载标准值是荷载在结构使用期间的最大值，是荷载的基本代表值。

（3）荷载的设计值是荷载分项系数与荷载代表值的乘积，荷载分项系数分为永久荷载分项系数和可变荷载分项系数。

（4）平面任意力系平衡的必要和充分条件是：力系中所有各力在两个坐标轴上的投影的代数和等于零，力系中所有各力对于任意一点 O 的力矩的代数和等于零。

（5）根据力系平衡原理及平衡方程，可以求解静定结构构件的支反力。

习　题

一、选择题

1. 永久荷载的代表值是(　　)。

A. 标准值　　B. 组合值　　C. 设计值　　D. 准永久值

2. 当两种或两种以上的可变荷载同时出现在结构上时，应采用荷载的代表值是(　　)。

A. 标准值　　B. 组合值　　C. 设计值　　D. 准永久值

3. 办公楼楼梯上的可变荷载标准值是(　　)。

A. 2kN/m^2　　B. 2.5kN/m^2　　C. 3.5kN/m^2　　D. 4kN/m^2

4. 可变荷载的设计值是(　　)。

A. $\gamma_Q Q_k$　　B. Q_k　　C. $\gamma_G G_k$　　D. G_k

5. 当楼面上的可变荷载标准值大于 4 kN/m^2时，可变荷载分项系数 γ_Q 应取(　　)。

A. 1.2　　B. 1.3　　C. 1.4　　D. 1.35

二、填空题

1. 平面任意力系平衡的必要和充分条件是：力系中所有各力在__________的代数和等于零，力系中所有各力对于__________的力矩代数和等于零。

2. 平面汇交力系平衡的充分和必要条件是：__________。

3. 若平面力系中的各力的作用线均相互平行，则此力系为__________。

4. 荷载标准值是荷载的__________代表值，是指其在结构使用期间可能出现的__________荷载值。

5. 一般情况下，荷载标准值与荷载分项系数的乘积为__________，也称设计荷载。

三、计算题

1. 某办公楼走廊平板，现浇钢筋混凝土板板厚120mm，30mm厚水磨石楼面，板底20mm厚混合砂浆抹灰，求该走廊板上的面荷载标准值。

2. 某办公楼钢筋混凝土简支梁，计算跨度为6m，梁的截面尺寸为200mm×500mm，作用在梁上的恒荷载标准值g_k=10kN/m(未考虑梁自重)，活载标准值q_k=5kN/m，试计算：

(1) 该梁上的恒荷载标准值。

(2) 该梁恒荷载标准值和活荷载标准值共同作用下的支座反力。

3. 求图4.13所示悬臂梁的支座反力。

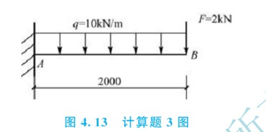


图4.13 计算题3图

4. 试确定出图书馆书库的楼面活荷载标准值，并求出其准永久值。

5. 求下列各计算简图(图4.14)的支座反力。

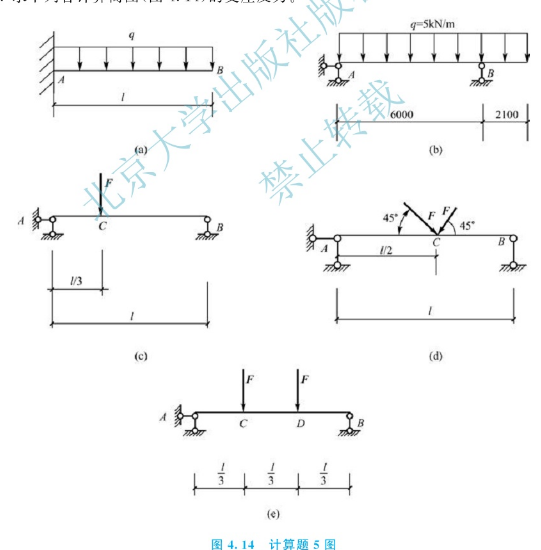


图4.14 计算题5图





模块5 构件内力计算及荷载效应组合

教学目标

通过本模块的学习，掌握内力的概念及计算方法，能够进行简单结构构件内力图的绘制，了解超静定结构内力的计算方法，了解荷载效应的基本概念。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
掌握内力的基本概念，掌握平面弯曲梁截面应力分布	内力及应力的基本概念	15%
熟练掌握运用截面法计算指定截面上的内力	指定截面的内力计算	35%
熟练掌握梁的内力图的规律，能够绘制静定单跨梁的剪力图和弯矩图，并能够通过内力图判定梁控制截面的位置	静定单跨梁的内力图绘制	35%
了解超静定结构的内力图形状，能够判定控制截面的位置	超静定结构内力计算	5%
了解荷载效应及效应组合的基本概念	荷载效应及荷载效应组合	10%

学习重点

内力及应力的基本概念；指定截面内力计算；静定单跨梁的内力图绘制。

引例

实际工程中，所有建筑物都要依靠其结构来承受荷载和其他间接作用(如温度变化、混凝土收缩与徐变等)，结构是建筑的重要组成部分。结构构件在外荷载及其他作用下必定在其内部引起内力和变形，即荷载效应。荷载效应的大小决定了后续的结构设计工作中选择什么样的材料、材料的强度等级、材料的用量、构件的截面形状及尺寸等内容。以钢筋混凝土结构为例，构件在荷载作用下的荷载效应之一是弯矩，控制截面的弯矩就控制了截面受力纵筋的多少及钢筋所处的位置。本模块在模块3和模块4的基础上主要介绍构件内力计算的基本方法及荷载效应组合的基本概念。

5.1 内力的基本概念

5.1.1 内力的定义

当人们用双手拉长一根弹簧时会感到弹簧内有一种反抗拉长的力，要想使弹簧拉得更长，就要施加更大的外力，而弹簧的反抗力也越大，这种反抗力就是弹簧的内力。所以，内力是指杆件受外力作用后在其内部所引起的各部分之间的相互作用力，内力是由外力引起的，且外力越大，内力也越大。

工程构件内常见的内力有轴力、剪力、弯矩及扭矩。轴力用 $\boldsymbol{N}$ 表示，与截面正交，与杆件重合；剪力用 $\boldsymbol{V}$ 表示，与截面相切，与轴线正交；弯矩用 $\boldsymbol{M}$ 表示，与截面互相垂直。这3种力分别如图5.1～图5.3所示。

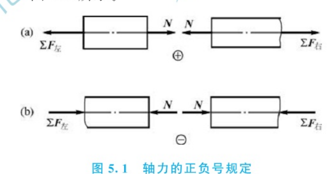


图5.1 轴力的正负号规定

(a) 拉力；(b) 压力

特别提示

内力除轴力、剪力、弯矩外，还有扭矩 $\boldsymbol{T}$，由于工程中受扭构件比较少，本节将不涉及扭矩的相关内容。



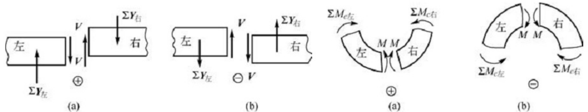




图 5.2 剪力的正负号规定

(a) 正剪力；(b) 负剪力

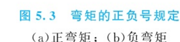


图 5.3 弯矩的正负号规定

(a)正弯矩；(b)负弯矩



5.1.2 内力的符号规定

1. 轴力符号的规定

轴力用符号 **N** 表示，背离截面的轴力称为拉力，为正值；指向截面的轴力称为压力，为负值。图 5.1(a)所示的截面受拉，**N** 为正号，图 5.1(b)所示的截面受压，**N** 为负号。轴力的单位为牛顿(N)或千牛顿(kN)。

2. 剪力符号的规定

剪力用符号用 **V** 表示，其正负号规定如下：当截面上的剪力绕梁段上任一点有顺时针转动趋势时为正，反之为负，如图 5.2 所示。剪力的单位为牛顿(N)或千牛顿(kN)。

3. 弯矩符号的规定

弯矩用符号 **M** 表示，其正负号规定如下：当截面上的弯矩使梁产生下凹的变形时为正，反之为负，如图 5.3 所示。柱子的弯矩的正负号可随意假设，但弯矩图画在杆件受拉的一侧，图中不标正负号。弯矩的单位为牛顿·米(N·m)或千牛顿·米(kN·m)。

特别提示

用截面法求解杆件截面内力时，轴力、剪力、弯矩均假定为正方向。

5.1.3 应力

1. 应力的基本概念

杆件在外荷载作用下的截面内力计算是通过截面法求解的，从其求解步骤来看，截面上的内力只与杆件的支座、荷载及长度有关，而与构件的材料和截面尺寸无关。因此，内力的大小不足以反映杆件截面的强度，内力在杆件上的密集程度才是影响强度的主要原因。

内力在一点处的集度称为应力，用分布在单位面积上的内力来衡量。一般将应力分解为垂直于截面和相切于截面的两个分量，垂直于截面的应力分量称为正应力或法应力，用 $\boldsymbol{\sigma}$ 表示；相切于截面的应力分量称为剪应力或切向应力，用 $\boldsymbol{\tau}$ 表示。

应力的单位为帕(Pa)，常用单位还有兆帕(MPa)或吉帕(GPa)。

$$1\text{Pa}=1\text{N/m}^2,\ 1\text{MPa}=10^6\text{Pa}=1\text{N/mm}^2,\ 1\text{GPa}=10^9\text{Pa}$$

2. 轴向拉压杆件横截面上的应力计算

轴向拉伸(压缩)时，杆件横截面上的应力为正应力，根据材料的均匀连续假设，可知正应力在其截面上是均匀分布的，若用 A 表示杆件的横截面面积，N 表示该截面的轴力，则等直杆轴向拉伸(压缩)时横截面的正应力 σ 的计算公式为

$$\sigma=\frac{N}{A} \tag{5-1}$$

正应力有拉应力与压应力之分，拉应力为正，压应力为负。

图 5.4(a)所示为等截面轴心受压柱的简图，其横截面面积为 A，荷载竖直向下且大小为 N，通过截面法求得 1—1 截面的轴力为 $-N$，负号说明轴力为压力，正应力 σ 为压应力，大小为 N/A，其分布如图 5.4(b)所示。

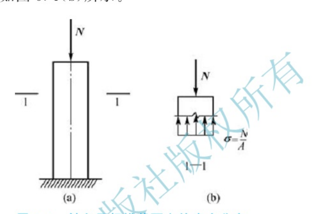


图 5.4　轴向压杆横截面上的应力分布

(a)轴心受压柱；(b)1—1 截面处应力分布

3. 矩形截面梁平面弯曲时横截面上的应力

一般情况下，梁在竖向荷载作用下会产生弯曲变形，本书只涉及平面弯曲的梁。平面弯曲指梁上所有外力都作用在纵向对称面内，梁变形后轴线形成的曲线也在该平面内弯曲，如图 5.5 所示。

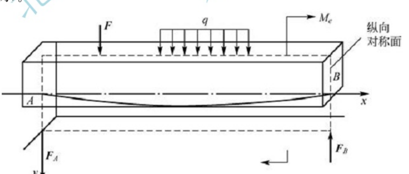




图 5.5　平面弯曲的梁

梁平面弯曲时，其横截面上的内力有弯矩和剪力，因此，梁横截面上必然会有正应力和剪应力的存在。

1）弯曲正应力

假设梁是由许多纵向纤维组成的，在受到如图 5.6 所示的外力作用下，将产生如图 5.6 所示的弯曲变形，凹边各层纤维缩短，凸边各层纤维伸长。这样梁的下部纵向纤维产生拉应变，上部纵向纤维产生压应变。从下部的拉应变过渡到上部的压应变，必有一层

纤维既不伸长也不缩短，即此层线应变为零，定义这一层为中性层，中性层与横截面的交线称为中性轴，如图 5.7 中的 z 轴所示。

通过推导，平面弯曲梁的横截面上任一点处的正应力计算公式为

$$\sigma=\frac{M}{I_z}\cdot y \tag{5-2}$$

式中，M——横截面上的弯矩；

I_z——截面对中性轴的惯性矩；

y——所求应力点在 yOz 坐标系中的纵坐标。

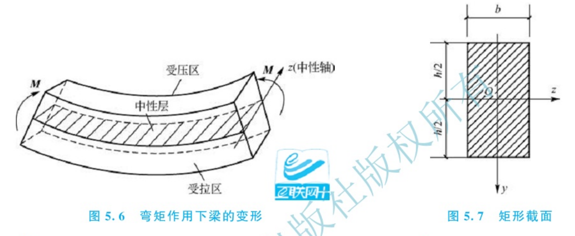


图 5.6 弯矩作用下梁的变形

图 5.7 矩形截面

特别提示

(1) 计算截面弯曲正应力时，其假定的坐标轴与普通的坐标轴正方向不同，y 轴正方向垂直向下，z 轴正方向水平向右，如图 5.7 所示。

(2) 矩形截面：$I_z=\frac{1}{12}bh^3$；当 y 达到最大值时，$I_z/y_{\max}=W_z$，W_z 称为抗弯截面模量。

由式(5-2)可知，对于同一个截面，M、I_z 为常量，截面上任一点处的正应力的大小与该点到中性轴的距离成正比，沿截面高度呈线性变化，如图 5.8 所示。

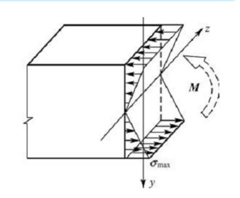


图 5.8 弯曲正应力分布

如图 5.9 所示，如果截面上弯矩为正弯矩，中性轴至截面上边缘区域为受压区，中性轴至截面下边缘区域为受拉区，且中性轴上应力为零，截面上边缘处压应力最大，截面下边缘处拉应力最大；假若截面上的弯矩为负弯矩，中性轴至截面上边缘区域为受拉区，中性轴至截面下边缘区域为受压区，且中性轴处应力为零，截面上边缘处拉应力最大，截面下边缘处压应力最大。

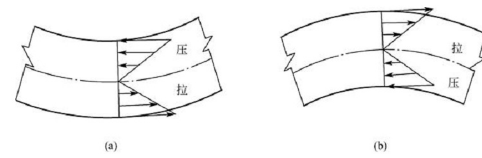


图 5.9　正弯矩及负弯矩下正应力分布

(a)正弯矩；(b)负弯矩

特别提示

对于多跨连续梁来讲，在竖向荷载作用下其跨中处产生正弯矩而支座处产生负弯矩，其受拉区位置不同，因此受力纵筋所处的位置也不同，参见模块 2 砖混结构平面布置图 L5(7)的配筋。

2）弯曲剪应力

平面弯曲的梁的横截面上任一点处的剪应力计算公式为

$$\tau=\frac{VS_z^*}{I_z b} \tag{5-3}$$

式中，V——横截面上的剪力；

I_z——横截面对中性轴的惯性矩；

b——横截面宽度；

S_z^*——横截面上所求剪应力处的水平线以下(或以上)部分面积 A^* 对中性轴的静矩。

剪应力的方向可根据与横截面上剪力方向一致来确定。对矩形截面梁，其剪应力沿截面高度呈二次抛物线变化，如图 5.10 所示，中性轴处剪应力最大，离中性轴越远剪应力越小，截面上、下边缘处剪应力为零，中性轴 a 点和 b 点如果距离中性轴相同，其剪应力也相同。

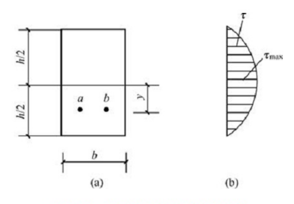


图 5.10　矩形截面梁剪应力分布

(a)矩形截面梁；(b)剪应力分布



特别提示

(1) 对于矩形截面梁来讲，截面弯矩引起的正应力在中性轴处为零，截面边缘处正应力最大；而剪力引起的剪应力在中性轴处最大，在截面边缘处剪应力为零。

(2) 矩形截面梁：$\tau_{max}=3V/2A$。

5.2 静定结构内力计算

静定结构是指结构的支座反力和各截面的内力可以用平衡条件唯一确定的结构，本节将介绍静定结构的内力计算，包括求解结构构件指定截面的内力与绘制整个结构构件内力图两大部分。

5.2.1 指定截面的内力计算

不同的结构构件承担的荷载与支承条件不同，截面上产生的内力不同。例如，仅受轴向外力作用的杆件，截面上产生的内力只有轴力；外力作用下产生平面弯曲的梁，截面上产生的内力为剪力与弯矩；由梁和柱用刚结点连接而成的平面刚架上的截面内力一般有轴力、剪力和弯矩。

求解不同结构构件的指定截面内力采用的基本方法是截面法，其基本步骤如下。

(1) 按模块4中的方法求解支座反力。

(2) 沿所需求内力的截面处假想切开，选择其中一部分为脱离体，另一部分留置不顾。

(3) 绘制脱离体受力图，应包括原来在脱离体部分的荷载和反力，以及切开截面上的待定内力。

(4) 根据脱离体受力图建立静力平衡方程，求解方程，得截面内力。

1. 轴向受力杆件的轴力

应用案例 5-1

杆件受力如图5.11(a)所示，在力 $\boldsymbol{F}_1$、$\boldsymbol{F}_2$、$\boldsymbol{F}_3$ 作用下处于平衡。已知 $F_1=25\text{kN}$，$F_2=35\text{kN}$，$F_3=10\text{kN}$，求截面1—1和2—2上的轴力。

解：杆件承受多个轴向力作用时，外力将杆分为几段，各段杆的内力将不相同，因此要分段求出杆的力。

(1) 求1—1截面的轴力。用1—1截面在 AB 段内将杆假想截开，取左段为研究对象[图5.11(b)]，截面上的轴力用 N_1 表示，并假设为拉力，由平衡方程

$$\sum F_x=0,\ N_1-F_1=0$$

求得 $N_1=F_1=25\text{kN}$。正值说明假设方向与实际方向相同，1—1截面的轴力为拉力。

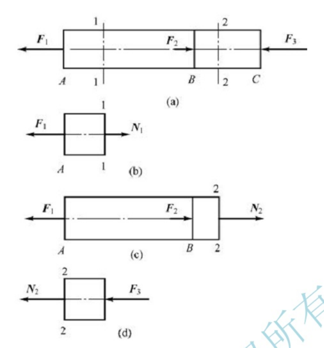


图 5.11　轴向受力杆件的内力

(2) 求 2—2 截面的轴力。用 2—2 截面在 BC 段内将杆假想截开，取左段为研究对象[图 5.11(c)]，截面上的轴力用 N_2 表示，由平衡方程

$$\sum F_x = 0,\ N_2 + F_2 - F_1 = 0$$

求得 $N_2 = F_1 - F_2 = 25 - 35 = -10(\text{kN})$。负值说明假设方向与实际方向相反，2—2 截面的轴力为压力。

也可以取 2—2 截面右段为研究对象[图 5.11(d)]，截面上的轴力用 N_2 表示，由平衡方程

$$\sum F_x = 0,\ N_2 + F_3 = 0$$

求得 $N_2 = -F_3 = -10\text{kN}$。

特别提示

不难看出：AB 段任一截面的轴力与 1—1 截面上的轴力相等，BC 段任一截面的轴力与 2—2 截面上的轴力相等。

2. 梁的内力计算

应用案例 5-2

图 5.12(a)所示为实例一砖混结构楼层平面图中简支梁 L2 的计算简图，计算跨度 $l_0 =$ 5100mm，已知梁上均布永久荷载标准值 $g_k = 13.332\text{kN/m}$，计算梁跨中处截面的内力。

解：(1)求支座反力。取整个梁为研究对象，画出梁的受力图，如图 5.12(b)所示，建立平衡方程求解支座反力，即

$$\sum F_x = 0,\ F_{Ax} = 0$$

$$\sum F_y = 0,\ F_{Ay} - g_k \times l_0 + F_{By} = 0$$

$$\sum M_A = 0,\ F_{By} \times l_0 - \frac{1}{2} g_k l_0^2 = 0$$

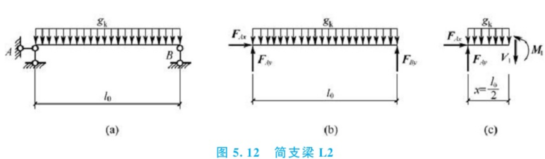


图 5.12　简支梁 L2

(a)计算简图；(b)受力图；(c)脱离体受力图

解得：$F_{Ax}=0$，$F_{Ay}=F_{By}=\frac{1}{2}g_k l_0=\frac{1}{2}\times 13.332\times 5.1=33.997\text{kN}(\uparrow)$

(2) 求跨中截面内力。在跨中截面将梁假想截开，取左段梁为脱离体，画出脱离体的受力图。假定该截面的剪力 V_1 和弯矩 M_1 的方向均为正方向，如图 5.12(c)所示，$x=\frac{1}{2}l_0$，建立平衡方程求解剪力 V_1 和弯矩 M_1，即

$$\sum F_x=0,\ F_{Ax}=0$$

$$\sum F_y=0,\ F_{Ay}-V_1-\frac{1}{2}g_k l_0=0$$

$$\sum M_A=0,\ M_1-V_1\cdot\frac{l_0}{2}-g_k\cdot\frac{l_0}{2}\cdot\frac{l_0}{4}=0$$

解得：$V_1=0$，$M_1=\frac{1}{8}g_k l_0^2=\frac{1}{8}\times 13.332\times 5.1^2=43.346(\text{kN}\cdot\text{m})$

特别提示

简支梁 L2 承受均布可变荷载标准值 $q_k=6.6\text{kN/m}$，按照截面法求解得

跨中截面内力 $V_1=0$，$M_1=\frac{1}{8}q_k l_0^2=\frac{1}{8}\times 6.6\times 5.1^2=21.458(\text{kN}\cdot\text{m})$

支座处截面内力 $V_2=\frac{1}{2}q_k l_0=16.83\text{kN}$，$M_2=0$

应用案例 5-3

图 5.13(a)所示为砖混结构楼层平面图中悬挑梁 XTL1 的计算简图，$l_0=2.1\text{m}$，永久荷载标准值 $g_k=12.639\text{kN/m}$，$F_k=16.665\text{kN}$，计算梁支座 1—1 截面的内力。

解：通过截面法求解 1—1 截面内力时，沿 1—1 截面将梁假想截开，不难发现：取左端梁为脱离体时，脱离体包含支座，需要求解求支座反力；取右段梁为脱离体时，脱离体没有支座，无须求解支座反力，所以为了方便起见，取右段梁为脱离体，画出脱离体的受力图，假定该截面的剪力 V_1 和弯矩 M_1 的方向均为正方向，如图 5.13(b)所示，

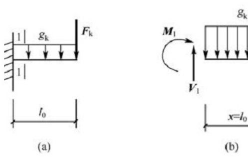


图 5.13　悬臂梁 XTL1

$x \approx l_0$，建立平衡方程求解剪力 V_1 和弯矩 M_1，即

$$\sum F_y = 0，V_1 - g_k l_0 - F_k = 0$$

$$\sum M_1 = 0，-M_1 - \frac{1}{2} g_k l_0^2 - F_k l_0 = 0$$

解得：$V_1 = g_k l_0 + F_k = 12.639 \times 2.1 + 16.665 = 43.207(\mathrm{kN})$

$$M_1 = -\frac{1}{2} g_k l_0^2 - F_k l_0 = -\frac{1}{2} \times 12.639 \times 2.1^2 - 16.665 \times 2.1 = -62.865(\mathrm{kN \cdot m})$$

应用案例 5-4

图 5.14(a)所示为砖混结构楼层平面图中外伸梁 L4(1A)的计算简图，$l_1 = 6\mathrm{m}$，$l_2 = 2.20\mathrm{m}$；永久荷载标准值 $g_{1k} = 13.332\mathrm{kN/m}$，$g_{2k} = 12.639\mathrm{kN/m}$，$F_k = 16.665\mathrm{kN}$，计算梁支座处及跨中截面的内力。

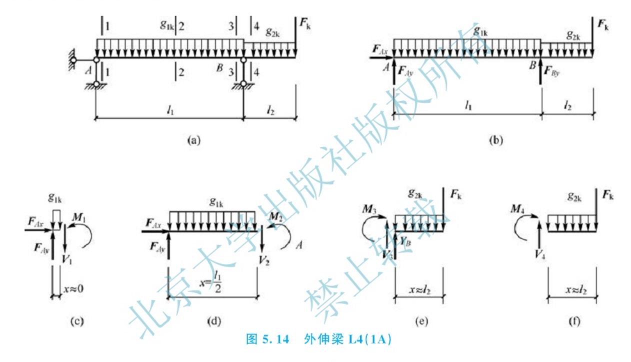


图 5.14 外伸梁 L4(1A)

解：(1)求支座反力。取整个梁为研究对象，画出梁的受力图，如图 5.14(b)所示，建立平衡方程求解支座反力，即

$$\sum F_x = 0，F_{Ax} = 0$$

$$\sum F_y = 0，F_{Ay} - g_{1k} l_1 - g_{2k} l_2 + F_{By} - F_k = 0$$

$$\sum M_A = 0，F_{By} l_1 - \frac{1}{2} g_{1k} l_1^2 - g_{2k} l_2 (l_1 + \frac{l_2}{2}) - F_k (l_1 + l_2) = 0$$

解得：$F_{Ax} = 0$，$F_{Ay} = 28.788\mathrm{kN}(\uparrow)$，$F_{By} = 95.675\mathrm{kN}(\uparrow)$

(2) 求 1—1 截面内力。用 1—1 截面将梁假想截开，取左段梁为脱离体，画出脱离体的受力图，假定该截面的剪力 V_1 和弯矩 M_1 的方向均为正方向，如图 5.14(c)所示，$x = 0$。建立平衡方程求解剪力 V_1 和弯矩 M_1，即

$$\sum F_x = 0，F_{Ax} = 0$$

$$\sum F_y = 0，F_{Ay} - V_1 = 0$$

$$\sum M_A = 0，M_1 = 0$$

解得：$V_1 = F_{Ay} = 28.788\text{kN}$，$M_1 = 0$

（3）求2—2截面内力。用2—2截面将梁假想截开，取左段梁为脱离体，画出脱离体的受力图，假定该截面的剪力V_2和弯矩M_2的方向均为正方向，如图5.14(d)所示，$x = l_1/2$。建立平衡方程求解剪力V_2和弯矩M_2，即

$$\sum F_x = 0,\ F_{Ax} = 0$$

$$\sum F_y = 0,\ F_{Ay} - \frac{1}{2}g_{1k}l_1 - V_2 = 0$$

$$\sum M_A = 0,\ M_2 + \frac{1}{8}g_{1k}l_1^2 - \frac{1}{2}V_2 l_1 = 0$$

解得：$V_2 = F_{Ay} - \frac{1}{2}g_{1k}l_1 = 28.788 - \frac{1}{2}\times 13.332\times 6 = -11.208(\text{kN})$

$$M_2 = \frac{1}{8}g_{1k}l_1^2 + \frac{1}{2}V_2 l_1 = \frac{1}{8}\times 13.332\times 6^2 + \frac{1}{2}\times(-11.208)\times 6 = 26.37(\text{kN}\cdot\text{m})$$

（4）求3—3截面内力。用3—3截面将梁假想截开，取右段梁为脱离体，画出脱离体的受力图，假定该截面的剪力V_3和弯矩M_3的方向均为正方向，如图5.14(e)所示，$x = l_2$。建立平衡方程求解剪力V_3和弯矩M_3，即

$$\sum F_y = 0,\ F_{By} - g_{2k}l_2 + V_3 - F_k = 0$$

$$\sum M_B = 0,\ -M_3 - \frac{1}{2}g_{2k}l_2^2 - F_k l_2 = 0$$

解得：$V_3 = g_{2k}l_2 + F_k - F_{By} = 12.639\times 2.20 + 16.665 - 95.675 = -51.204(\text{kN})$

$$M_3 = -\frac{1}{2}g_{2k}l_2^2 - F_k l_2 = -\frac{1}{2}\times 12.639\times 2.2^2 - 16.665\times 2.2 = -67.249(\text{kN}\cdot\text{m})$$

（5）求4—4截面内力。用4—4截面将梁假想截开，取右段梁为脱离体，画出脱离体的受力图，假定该截面的剪力V_4和弯矩M_4的方向均为正方向，如图5.14(f)所示，$x \approx l_2$。建立平衡方程求解剪力V_4和弯矩M_4，即

$$\sum F_y = 0,\ V_4 - g_{2k}l_2 - F_k = 0$$

$$\sum M_4 = 0,\ -M_4 - \frac{1}{2}g_{2k}l_2^2 - F_k l_2 = 0$$

解得：$V_4 = g_{2k}l_2 + F_k = 12.639\times 2.2 + 16.665 = 44.471(\text{kN})$

$$M_4 = -\frac{1}{2}g_{2k}l_2^2 - F_k l_2 = -\frac{1}{2}\times 12.639\times 2.20^2 - 16.665\times 2.20 = -67.249(\text{kN}\cdot\text{m})$$

特别提示

在求解悬臂梁及外伸梁外伸部分截面内力时，无须求解支座反力。

3. 静定平面刚架的内力计算

静定平面刚架是由横梁和柱共同组成的一个整体静定承重结构。刚架的特点是具有刚结点，即梁与柱的接头是刚性连接的，共同组成一个几何不变的整体。

应用案例 5-5

求图 5.15(a)所示刚架 E 截面的内力。

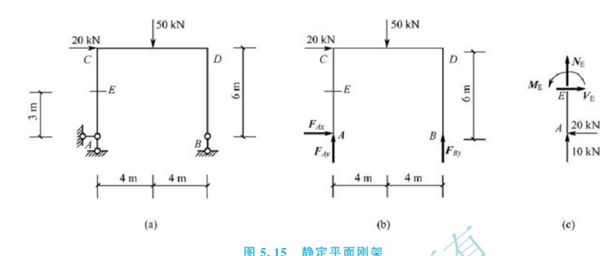


图 5.15　静定平面刚架

解：(1) 求支座反力。取整个刚架为脱离体，画出刚架的受力图，如图 5.15(b)所示，建立平衡方程求解支座反力，即

$$\sum F_x = 0,\ F_{Ax} + 20 = 0$$

$$\sum M_B = 0,\ -F_{Ay} \times 8 - 20 \times 6 + 50 \times 4 = 0$$

$$\sum M_A = 0,\ F_{By} \times 8 - 50 \times 4 - 20 \times 6 = 0$$

解得：$F_{Ax} = -20\text{kN}(\leftarrow)$，$F_{Ay} = 10\text{kN}(\uparrow)$，$F_{By} = 40\text{kN}(\uparrow)$

(2) 求 E 截面内力。沿 E 截面将刚架截开，取 AE 段为脱离体，画出脱离体的受力图，假定该截面的剪力 V_E 和弯矩 M_E 的方向均为正方向，如图 5.15(c)所示，建立平衡方程求解剪力 V_E 和弯矩 M_E，即

$$\sum F_x = 0,\ V_E - 20 = 0$$

$$\sum F_y = 0,\ N_E + 10 = 0$$

$$\sum M_E = 0,\ M_E - 20 \times 3 = 0$$

解得：$V_E = 20\text{kN}$，$N_E = -10\text{kN}$，$M_E = 60\text{kN} \cdot \text{m}$



知识链接

静定平面桁架的内力计算

1. 静定平面桁架的基本特点

静定平面桁架是指由在一个平面内的若干直杆在两端用铰连接所组成的静定结构，如图 5.16 所示。下面所提及的桁架均为静定平面桁架。

组成桁架的各杆依其所在的位置可分为弦杆和腹杆两类，弦杆是指桁架外围的杆件，上部的称为上弦杆，下部的称为下弦杆；上、下弦杆之间的杆件统称为腹杆，其中竖向的称为直腹杆，斜向的称为斜腹杆。从上弦最高点至下弦的距离称矢高，也称为桁架高；杆

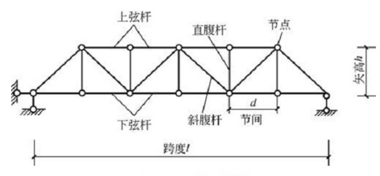


图 5.16 平面桁架

件与杆件的连接点称为节点（或称结点）；弦杆上两相邻节点间的区间称为节间；桁架两支座之间的距离称为跨度。

为了简化计算，在取桁架计算简图时，通常做如下假定。

(1) 各杆在两端用光滑的理想铰相互连接。

(2) 所有杆件的轴线都是直线，在同一平面内且通过铰的中心。

(3) 荷载和支座反力都作用在节点上且位于桁架所在的平面内。

符合上述假定的桁架称为理想桁架，其各杆件在节点荷载作用下的内力仅为轴力，且应力分布均匀。

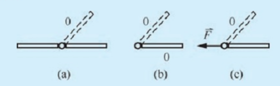
2. 静定平面桁架内力计算

静定平面桁架的内力计算方法有两种：节点法和截面法。节点法是指截取桁架的节点为脱离体，由节点的平衡条件求解与节点相连的各杆件的内力。截面法是假想用一个截面将桁架切开分成两部分，取其任一部分为脱离体，画出作用在该部分桁架上的外力及被截断杆件的内力，由平衡条件求解被截断各杆件的内力。

求解过程中，进行受力分析作受力图时，习惯上假定杆件轴力为拉力，其实际轴力方向根据计算结果的正负号判断，正值为拉力，负值为压力。当轴力为零时，杆件称为零杆。

特别提示

判断零杆的结论如下。



(1) 一节点上有三根杆件，如果节点上无外力的作用，其中两根共线，则另一杆为零杆(a)。

(2) 一节点上只有两根不共线杆件，如果节点上无外力的作用，则两杆件均为零杆(b)。

(3) 一节点上只有两根不共线杆件，如果作用在节点上的外力沿其中一杆，则另一杆为零杆(c)。

(1) 节点法的基本步骤。

① 选取整个桁架为研究对象，依据平衡条件求解支座反力。

② 从只有两个杆件的节点开始，逐一将各节点从整榀桁架中依次截割出来为脱离体，作受力图。

③ 依据平衡条件建立平衡方程，逐一求解各杆件内力。

应用案例 5-6

试用节点法求图 5.17(a)所示桁架各杆件的内力。

解：(1)求支座反力。由于结构和荷载均对称，故

$$F_{Ax}=0，F_{Ay}=F_{By}=25\text{kN}(\uparrow)$$

(2) 求各杆件内力。经判断，以 F、D、H 为节点，无竖向力作用[以图 5.17(c)中节点 F 为例]，故 CF、DG 及 EH 杆件为零杆。

节点 A：受力图如图 5.17(c)所示，建立平衡方程

$$\sum F_x=0，N_{AF}+N_{AC}\times 4/5=0$$

$$\sum F_y=0，N_{AC}\times 3/5+25=0$$

解得：$N_{AF}=33.3\text{kN}$(拉)，$N_{AC}=-41.7\text{kN}$(压)

节点 F：CF 杆为零杆，$N_{FC}=0$

$$\sum F_x=0, N_{FG}=N_{FA}=33.3\text{kN}(拉)$$

节点 C：受力图如图 5.17(c)所示，建立平衡方程

$$\sum F_x=0，N_{CG}\times 4/5+N_{CD}+41.7\times 4/5=0$$

$$\sum F_y=0，-N_{CG}\times 3/5-20+41.7\times 3/5=0$$

解得：$N_{CG}=8.37\text{kN}$(拉)，$N_{CD}=-40\text{kN}$(压)

将计算结果标于图 5.17(b)所示的桁架上(右半桁架各杆件括号内所注数字是根据对称关系求得的结果)。

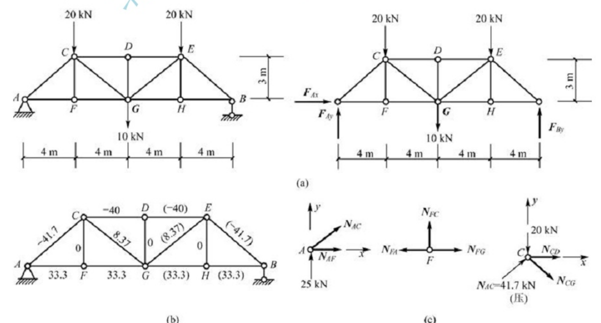


图 5.17 节点法求桁架内力

(2) 截面法的基本步骤。

① 选取整个桁架为研究对象，依据平衡条件求解支座反力。

② 假想用一个截面将桁架切开分成两部分，取其任一部分为脱离体，画出作用在该部分桁架上的外力及被截断杆件的内力，作受力图。

③ 依据平衡条件建立平衡方程，求解被截断各杆件的内力。

应用案例 5－7

试用截面法求图 5.18(a)所示桁架 a、b、c 杆件的内力。

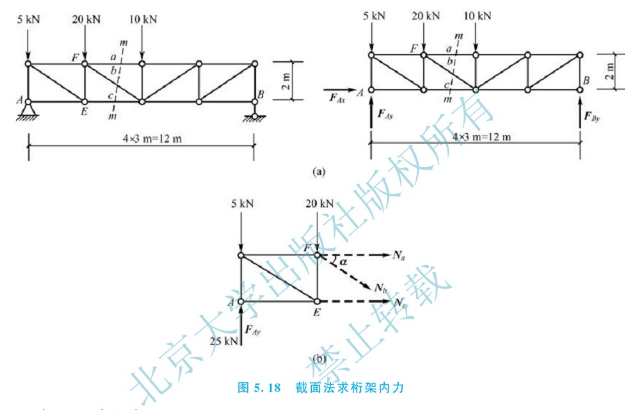


图 5.18 截面法求桁架内力

解：(1)求支座反力。

$$\sum F_y = 0,\ F_{Ay} + F_{By} - 5 - 20 - 10 = 0$$

$$\sum M_B = 0,\ -F_{Ay} \times 12 + 5 \times 12 + 20 \times 9 + 10 \times 6 = 0$$

求得：$F_{Ax}=0$，$F_{Ay}=25\text{kN}(\uparrow)$，$F_{By}=10\text{kN}(\uparrow)$

(2) 求指定杆件的内力。用截面 m—m 将杆件 a、b、c 截开，取左半部分为脱离体，画受力图如图 5.18(b)所示。

$$\sum F_x = 0,\ N_a + N_c + N_b \cos\alpha = 0$$

$$\sum F_y = 0,\ 25 - 5 - 20 - N_b \sin\alpha = 0$$

$$\sum M_F = 0,\ 5 \times 3 - 25 \times 3 + N_c \times 2 = 0$$

求得：$N_b=0$，$N_a=-30\text{kN}$(压)，$N_c=30\text{kN}$(拉)

5.2.2 内力图

结构构件在外力作用下，截面内力随截面位置的变化而变化，为了形象、直观地表达内力沿截面位置变化的规律，通常绘出内力随横截面位置变化的图形，即内力图。根据内力图可以找出构件内力最大值及其所在截面的位置。

特别提示

内力图在结构设计中有重要的作用，构件的承载力计算是以构件在荷载作用下控制截面的内力作为依据的。对于等截面结构构件，其控制截面是指内力最大的截面；对于变截面结构构件，其控制截面除了内力最大的截面外，还有尺寸突变的截面。不同的结构构件在不同的荷载作用下，其控制截面的位置和数量是不一样的，可以通过绘制结构构件内力图的方法来达到这一目的。

1. 轴向受力杆件的内力图——轴力图

可按选定的比例尺，用平行于轴线的坐标表示横截面的位置，用垂直于杆轴线的坐标表示各横截面轴力的大小，绘出表示轴力与截面位置关系的图线，该图形就称为轴力图。画图时，习惯上将正值的轴力画在上侧，负值的轴力画在下侧。

绘制仅受轴向集中力杆件的轴力图的步骤如下。

(1) 求解支座反力。

(2) 根据施加荷载情况分段。

(3) 求出每段内任一截面上的轴力值。

(4) 选定一定比例尺，用平行于轴线的坐标表示横截面的位置，用垂直于杆轴线的坐标表示各横截面轴力的大小，绘制轴力图。

应用案例 5-8

等截面杆件受力如图 5.19(a)所示，试作出该杆件的轴力图。

解：(1)求支座反力。根据平衡条件可知，轴向拉压杆固定端的支座反力只有 $\boldsymbol{F}_{Ax}$，如图 5.19(b)所示。取整根杆为研究对象列平衡方程，即

$$\sum F_x = 0,\ -F_{Ax} - F_1 + F_2 - F_3 + F_4 = 0$$

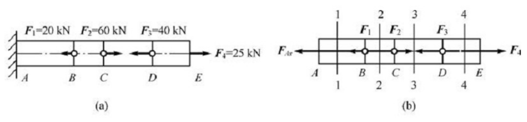
解得：$F_{Ax} = -F_1 + F_2 - F_3 + F_4 = -20 + 60 - 40 + 25 = 25(\text{kN})\ (\leftarrow)$

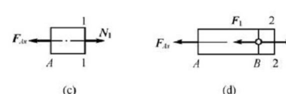
(2) 求各段杆的轴力。如图 5.19(b)所示，杆件在 5 个集中力作用下保持平衡，分 4 段：AB 段、BC 段、CD 段、DE 段。

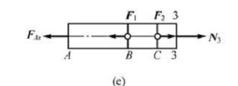
求 AB 段轴力：用 1—1 截面将杆件在 AB 段内截开，取左段为研究对象[图 5.19(c)]。以 N_1 表示截面上的轴力，由平衡方程

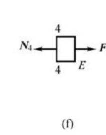
$$\sum F_x = 0,\ -F_{Ax} + N_1 = 0$$

解得：$N_1 = F_{Ax} = 25\text{kN}$(拉力)









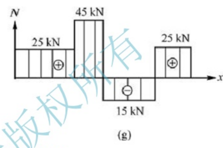


图 5.19 轴向拉压杆的内力图

求 BC 段的轴力：用 2—2 截面将杆件截断，取左段为研究对象[图 5.19(d)]。由平衡方程

$$\sum F_x = 0, -F_{Ax} + N_2 - F_1 = 0$$

解得：$N_2 = F_{Ax} + F_1 = 20 + 25 = 45(\text{kN})$（拉力）

求 CD 段轴力：用 3—3 截面将杆件截断，取左段为研究对象[图 5.19(e)]。由平衡方程

$$\sum F_x = 0, N_3 - F_{Ax} + F_2 - F_1 = 0$$

解得：$N_3 = F_{Ax} - F_2 + F_1 = 25 - 60 + 20 = -15(\text{kN})$（压力）

求 DE 段轴力：用 4—4 截面将杆件截断，取右段为研究对象[图 5.19(f)]。由平衡方程

$$\sum F_x = 0, F_4 - N_4 = 0$$

解得：$N_4 = F_4 = 25\text{kN}$(拉力)

(3) 画轴力图。以平行于杆轴的 x 轴为横坐标，垂直于杆轴的坐标轴为 N 轴，按一定比例将各段轴力标在坐标轴上，可作出轴力图，如图 5.19(g)所示。

特别提示

(1) 轴向拉力为“+”，压力为“—”。

(2) 绘制轴力图时，杆件是以作用在杆件的集中力(包括支反力和外荷载)的位置来分段求解的，对于两个集中力之间的杆件，任一截面处的内力均相等。

(3) BC 段截面上的拉力值最大，为轴拉杆件设计的控制段；同时 CD 段上的压力值最大，也为轴压杆件设计的控制段。

2. 梁的内力图——剪力图和弯矩图

梁的内力图包括剪力图和弯矩图，其绘制方法与轴力图相似，即用平行于梁轴线的横坐标 x 轴为基线表示该梁的横坐标位置，用纵坐标的端点表示相应截面的剪力或弯矩，再将各纵坐标的端点连接起来。在绘剪力图时习惯上将正剪力画在 x 轴的上方，负剪力画在 x 轴的下方，并标明正负号。而绘弯矩图时则规定画在梁受拉的一侧，即正弯矩画在 x 轴的下方，负弯矩画在 x 轴的上方，可以不标明正负号。

绘制梁的内力图方法有三种：内力方程法、规律法及叠加法。内力方程法是指将梁分成若干荷载段，分段采用截面法建立剪力方程和弯矩方程，然后在平行于梁轴线为 x 轴、垂直于梁轴线为 y 轴的坐标系绘制成剪力图和弯矩图。规律法是指在求得支反力之后，利用梁上荷载与剪力图、弯矩图之间的关系直接绘制剪力图和弯矩图。叠加法是指在绘制多个荷载作用下构件的内力图时，可以先按规律法绘制单个荷载作用下的内力图，然后将多个分内力图线性叠加形成最终的内力图。下面将讨论采用内力方程法、规律法及叠加法绘制梁的内力图的方法与技巧。

1）用内力方程法绘制剪力图和弯矩图

通常梁在外力作用下，各截面上的剪力和弯矩沿轴线方向是变化的。如果用横坐标 x 表示横截面沿梁轴线的位置，则剪力和弯矩都可以表示为坐标 x 的函数，即

$$V=V(x),\ M=M(x)$$

这两个方程分别称为梁的剪力方程和弯矩方程。

应用案例 5-9

作如图 5.20(a)所示简支梁的剪力图和弯矩图。

解：(1) 求支座反力。

由图 5.20(b)知：$\sum M_A=0, F_B=\dfrac{Fa}{l}(\uparrow)$

$$\sum M_B=0, F_{Ay}=\frac{Fb}{l}(\uparrow)$$

$$\sum F_x=0, F_{Ax}=0$$

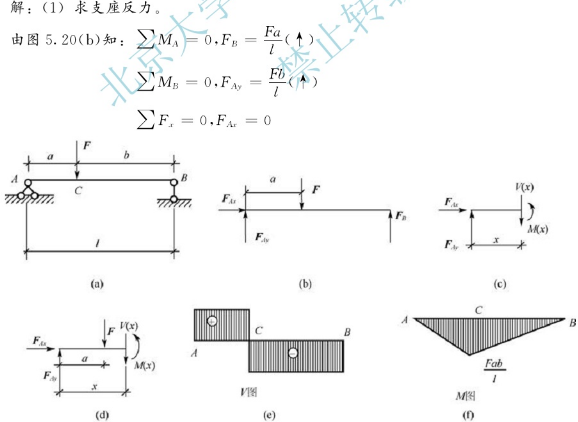


图 5.20　简支梁的内力图

(2) 列剪力方程和弯矩方程。

建立 x 坐标轴，取图中的 A 点为坐标原点。因为 AC、CB 段的内力方程不同，所以应分别列出。两段的内力方程分别为

AC 段[图 5.20(c)]

$$V(x)=F_{Ay}=\frac{Fb}{l}\qquad(0\leqslant x<a)$$

$$M(x)=F_{Ay}x=\frac{Fb}{l}x\qquad(0\leqslant x<a)$$

CB 段[图 5.20(d)]

$$V(x)=F_{Ay}-F=\frac{Fa}{l}\qquad(a\leqslant x\leqslant l)$$

$$M(x)=F_{Ay}x-F(x-a)=\frac{Fb}{l}x-F(x-a)=\frac{Fa}{l}(l-x)\qquad(a\leqslant x\leqslant l)$$

(3) 绘制剪力图和弯矩图。

由剪力方程和弯矩方程可以看出，C 点是分段函数的分界点，也是剪力图和弯矩图的分界点。剪力图是两条水平线，在集中力 F 作用点 C 处剪力图产生突变，突变值等于集中力的大小，弯矩图是两条斜率不同的斜直线，在集中力 F 的作用点 C 处相交，形成尖角。梁剪力图和弯矩图分别如图 5.20(e)、(f)所示，并且由图 5.20(e)、(f)可得到以下两条内力图规律。

① 梁上没有荷载段，剪力图为水平直线，弯矩图为一斜直线，当剪力为正时，弯矩图向右下倾斜，当剪力为负时，弯矩图向右上倾斜。

② 在集中力作用点处，剪力图出现突变，方向、大小与集中力同，M 图没有突变但有尖点。

应用案例 5-10

作如图 5.21(a)所示简支梁的剪力图和弯矩图。

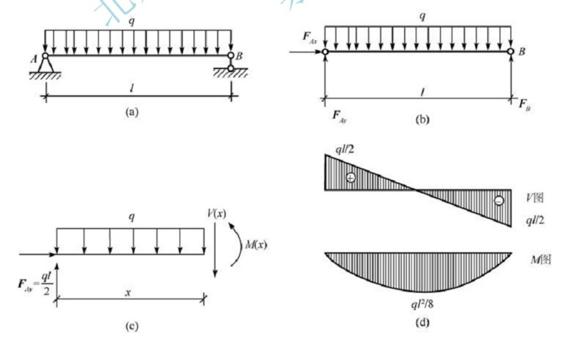


图 5.21 应用案例 5-10 图

解：(1) 求支座反力。

取梁整体为隔离体[图 5.21(b)]利用对称性，则 $F_{Ay}=F_B=\frac{ql}{2}(\uparrow)$，建立平衡方程。

$$\sum F_x=0,\ F_{Ax}=0$$

(2) 列剪力方程和弯矩方程。

建立 x 坐标轴，取图中的 A 点为坐标原点，取 x 的左侧截面为隔离体，列出剪力方程和弯矩方程[图 5.21(c)]

$$V(x)=F_{Ay}-qx=\frac{ql}{2}-qx \qquad (0\leqslant x\leqslant l)$$

$$M(x)=F_{Ay}x-q\frac{x^2}{2}=\frac{ql}{2}x-\frac{q}{2}x^2 \qquad (0\leqslant x\leqslant l)$$

(3) 绘制剪力图和弯矩图。

由剪力方程可以看出，该梁的剪力图是直线，只要算出两个点的剪力值就可以画出；弯矩图是抛物线，要计算出三个点的弯矩值。

$$V_A=\frac{q}{2}l,\ V_B=-\frac{q}{2}l$$

$$M_A=0,\ M_B=0,\ M_C=\frac{ql^2}{8}$$

根据求出的各值，绘制梁剪力图和弯矩图，分别如图 5.21(d)所示，并可得出下述规律。

梁上有均布荷载段，剪力图为斜直线，弯矩图为二次抛物线。当荷载向上时，剪力图为向右上倾斜的直线，弯矩图为向上凸的抛物线；当荷载向下时，剪力图为向右下倾斜的直线，弯矩图为向下凹的抛物线。

最大剪力发生在 A、B 两支座的内侧截面上，$|V|_{max}=\frac{1}{2}ql$，而该处的弯矩为零；最大弯矩发生在梁的中点截面上，$M_{max}=\frac{1}{8}ql^2$，而该处的剪力为零。

应用案例 5-11

作如图 5.22(a)所示简支梁的剪力图和弯矩图。

解：(1) 求支座反力。

$$F_{Ax}=0,\ F_{Ay}=\frac{M_e}{l}(\downarrow),\ F_B=\frac{M_e}{l}(\uparrow)$$

(2) 列剪力方程和弯矩方程。

建立 x 坐标轴，取图中的 A 点为坐标原点，两段的内力方程分别为

AC 段

$$V(x)=F_{Ay}=\frac{M_e}{l} \qquad (0\leqslant x<a)$$

$$M(x)=F_{Ay}x=\frac{M_e}{l}x \qquad (0\leqslant x<a)$$

CB 段

$$V(x)=F_{Ay}=\frac{M_e}{l} \qquad (a\leqslant x\leqslant l)$$

$$M(x)=F_{Ay}x-M_e=\frac{M_e}{l}(x-l) \qquad (a\leqslant x\leqslant l)$$

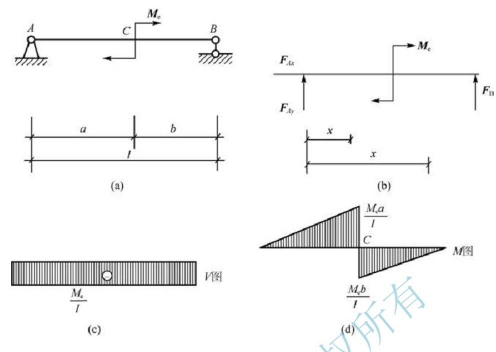


图 5.22 应用案例 5-11 图

(3) 画剪力图和弯矩图。

由剪力方程可知剪力图是一条水平直线。从弯矩方程可以看出，C 点是分段函数的分界点，也是弯矩图的分界点，弯矩图是两条互相平行的斜直线，C 点处弯矩出现突变，突变值等于力偶矩的大小。梁剪力图和弯矩图分别如图 5.22(c)、(d)所示，并可得出下述规律。

在集中力偶作用处，剪力图没有变化，弯矩图发生突变，顺时针力偶弯矩图向下突变，逆时针力偶弯矩图向上突变，突变的值为该集中力偶矩的大小。

2) 利用内力图的规律绘制内力图

(1) 梁上荷载与剪力图、弯矩图之间的关系见表 5-1。

表 5-1 梁上荷载与剪力图、弯矩图的关系

项次	梁段上荷载情况	剪力图		弯矩图	
1	无荷载区段	特征：V 图为水平直线		特征：M 图为斜直线	
		$V=0$ 时	V x	$M=0$ 时	M<0 M=0 M>0 x M
		$V>0$ 时	V ⊕ x	$M>0$ 时	x M 下斜直线
		$V<0$ 时	V ⊖ x	$M<0$ 时	x M 上斜直线

(续)

项次	梁段上荷载情况	剪力图	弯矩图
2	均布荷载向上作用 $q>0$	特征：上斜直线	特征：上凸曲线
3	均布荷载向下作用 $q<0$	特征：下斜直线	特征：下凸曲线
4	集中力作用处 C	特征：C 截面处有突变，突变值等于 F	特征：C 处有尖点，尖点方向同荷载方向
5	集中力偶作用处 C	特征：C 截面处无变化	C 截面处有突变，突变值等于 m

为了便于记忆表 5-1 中的规律，可以用下面的口诀简述。

① 对剪力图：没有荷载平直线，均布荷载斜直线，力偶荷载无影响，集中荷载有突变。

② 对弯矩图：没有荷载斜直线，均布荷载抛物线，集中荷载有尖点，力偶荷载有突变。

(2) 利用规律法绘制内力图的步骤如下。

① 求解支座反力。

② 绘制受力图。

③ 依据梁上荷载与剪力图、弯矩图之间的关系绘制剪力图、弯矩图。

应用案例 5-12

图 5.23(a)所示为实例一砖混结构楼层平面图中简支梁 L2 的计算简图，计算跨度 $l_0=5100\text{mm}$，已知梁上均布永久荷载标准值 $g_k=13.332\text{kN/m}$，绘制简支梁 L2 的内力图。

解：(1)求支座反力。应用案例 5-2 中已求出：$F_{Ax}=0$，$F_{Ay}=F_B=33.997\text{kN}(\uparrow)$。

(2) 绘制受力图，如图 5.23(b)所示，画出外荷载和支座反力的实际方向并标出大小。

(3) 依据荷载和与剪力图、弯矩图的规律绘制 V 图和 M 图，如图 5.23(c)所示，$V_A=F_{Ay}=33.997\text{kN}$，$V_B=-F_B=-33.997\text{kN}$，跨中 $M=\frac{1}{8}\times13.332\times5.1^2=43.346(\text{kN}\cdot\text{m})$。

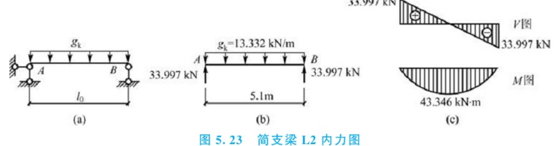


图 5.23 简支梁 L2 内力图

特别提示

不难看出：跨中截面弯矩最大，$M_{max}=43.346\text{kN}\cdot\text{m}$，且引起该截面上部受压、下部受拉；支座处剪力最大，$V_{max}=33.997\text{kN}$。

应用案例 5-13

图 5.24(a)所示为实例一砖混结构楼层平面图中悬挑梁 XTL1 的计算简图，$l_0=2.1\text{m}$，永久荷载标准值 $g_k=12.639\text{kN/m}$，$F_k=16.665\text{kN}$，绘制悬挑梁 XTL1 的内力图。

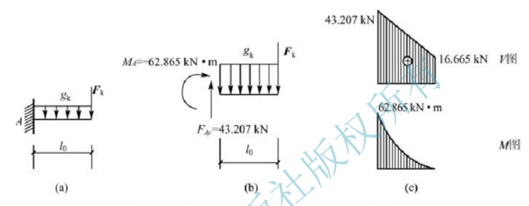


图 5.24　悬挑梁 XTL1 的计算简图与内力图

解：(1)以悬臂梁为研究对象，根据静力平衡条件求得支座反力。

$$F_{Ax}=0$$

$$F_{Ay}=g_k l_0+F_k=12.639\times 2.1+16.665=43.207(\text{kN})(\uparrow)$$

$$M_A=-\frac{1}{2}g_k l_0^2-F_k l_0$$

$$=-\frac{1}{2}\times 12.639\times 2.1^2-16.665\times 2.1$$

$$=-62.865(\text{kN}\cdot\text{m})(\curvearrowleft)$$

(2) 绘制受力图，如图 5.24(b)所示，画出外荷载和支座反力并标出大小。

(3) 依据荷载和与剪力图、弯矩图的规律绘制 V 图和 M 图，如图 5.24(c)所示，不难看出：悬挑梁 XTL1 负弯矩最大值 $M_{max}^-=-62.865\text{kN}\cdot\text{m}$，且位于支座处，引起该截面上部受拉、下部受压；支座处剪力最大，$V_{max}=43.207\text{kN}$。

应用案例 5-14

图 5.25(a)所示为砖混结构楼层平面图中外伸梁 L4(1A)的计算简图，$l_1=6\text{m}$，$l_2=2.20\text{m}$；永久荷载标准值 $g_{1k}=13.332\text{kN/m}$，$g_{2k}=12.639\text{kN/m}$，$F_k=16.665\text{kN}$，绘制梁 L4(1A)的内力图。

解：(1)求支座反力。

应用案例 5-4 已求出：$F_{Ax}=0$，$F_{Ay}=28.788\text{kN}(\uparrow)$，$F_{By}=95.675\text{kN}(\uparrow)$

(2) 绘制荷载图，如图 5.25(b)所示，画出外荷载和支座反力的实际方向并标出大小。

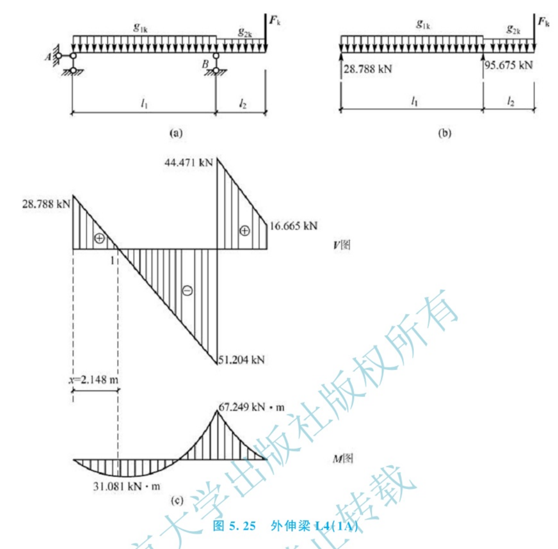


图 5.25　外伸梁 L4(1A)

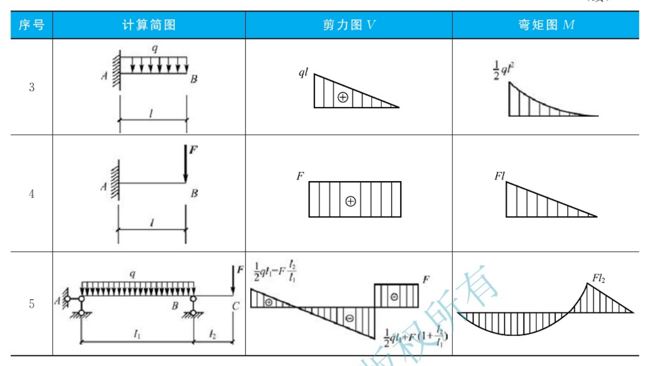
(3) 依据荷载和剪力图、弯矩图的规律绘制 V 图和 M 图，如图 5.25(c)所示，不难看出：外伸梁 L4(1A)正弯矩最大值 $M_{max}=31.081\text{kN}\cdot\text{m}$，且引起该截面上部受压、下部受拉。负弯矩最大值 $M_{max}^{-}=-67.249\text{kN}\cdot\text{m}$ 且位于中间支座 B 处，引起该截面上部受拉、下部受压；B 支座处剪力最大，$V_{max}^{-}=-51.204\text{kN}$。

(3) 常见静定单跨梁在荷载作用下的内力图(表 5-2)。

表 5-2　常见静定单跨梁在荷载作用下的内力图

序号	计算简图	剪力图 V	弯矩图 M
1	q A B l	$ql/2$ ⊕ ⊖ $ql/2$	$\frac{1}{8}ql^2$
2	F A C B $\frac{l}{2}$ $\frac{l}{2}$	$F/2$ ⊕ ⊖ $F/2$	$\frac{1}{4}Fl$

（续）



3）利用叠加法绘制内力图

应用案例 5－15

图 5.26(a)所示为悬臂梁的计算简图，利用叠加法绘制梁的内力图。

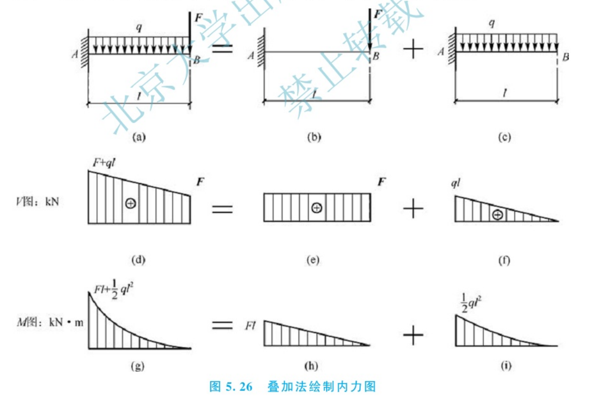


图 5.26　叠加法绘制内力图

解：(1) 该悬臂梁承受均布荷载 q 和集中力 F，按照叠加法的思想，现将悬臂梁的计算简图 5.26(a)分解为如图 5.26(b)、(c) 所示的两个悬臂梁。

(2) 利用规律法分别绘制图 5.26(b)、(c)所示两个悬臂梁的内力图，如图 5.26(e)、(f)、(h)、(i)所示。

(3) 将图 5.26(e)与图 5.26(f)叠加形成图 5.26(d)，即悬臂梁的剪力图；将图 5.26(h)与图 5.26(i)叠加形成图 5.26(g)，即悬臂梁的弯矩图。

5.3 超静定结构内力计算



【结构力学求解器】



【力法与位移法】

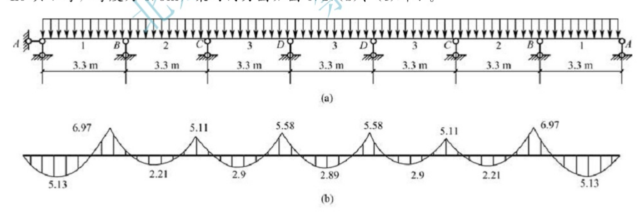
超静定结构是指从几何组成性质的角度来看，属于几何不变且有多余约束的结构，其支座反力和内力不能用平衡条件来确定。建筑工程中常见的超静定结构形式有刚架、排架、桁架及连续梁等。

超静定结构的内力计算与静定结构相比较为麻烦，其计算方法较多，其中最基本的是力法和位移法两种。此外，随着计算机在结构计算中的广泛应用，在实际工程设计中通常采用结构计算软件进行结构内力计算。本节将直接给出本书中通过结构软件计算得到的砖混结构中多跨连续梁在竖向均布荷载作用下、现浇框架结构中多跨连续单向板在竖向均布荷载作用下、框架结构中一榀框架在风荷载和竖向荷载作用下的内力图。

5.3.1 多跨连续梁内力计算

应用案例 5-16

图 5.27(a)所示为砖混结构楼层平面图中多跨连续梁 L5(7)的计算简图，$q=6.06\text{kN/m}$，L5 共 7 跨，跨度为 3.3m，梁的内力图如图 5.27(b)、(c)所示。



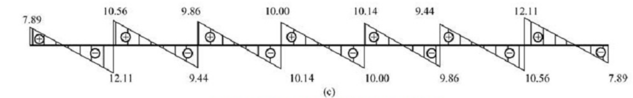


图 5.27 梁 L5(7)的计算简图与内力图

(a)计算简图；(b)M 图(kN·m)；(c) V 图(kN)

应用案例 5－17

图 5.28(a)所示为①～⑥轴线的多跨连续板的计算简图，共 15 跨，板跨均为 3m，由于板跨相等近似采用 5 跨连续板代替，$q=7.048\text{kN/m}$，其内力图如图 5.28(b)、(c)所示。

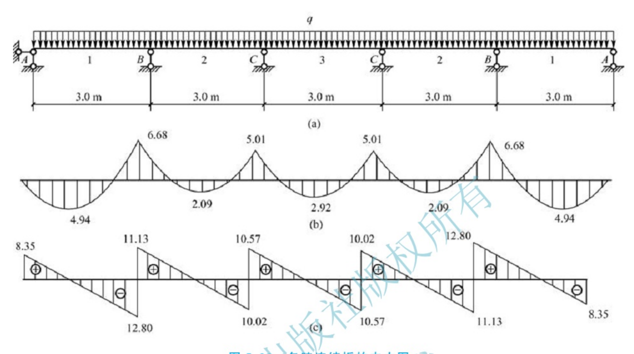


图 5.28　多跨连续板的内力图

(a)计算简图；(b)M 图(kN·m)；(c) V 图(kN)

特别提示

工程中多跨连续梁或多跨连续板在竖向荷载作用下，其内力图形状与图 5.27 及图 5.28 相似，仅数值不同，不难看出：每跨跨中正弯矩最大，中间支座处负弯矩最大且左、右截面弯矩相等；支座处剪力最大，且左、右截面剪力方向相反、数值不同，跨中剪力较小。因此，对于多跨连续梁或多跨连续板来讲，其每跨跨中弯矩最大处及支座左右边缘截面为结构计算的控制截面。

5.3.2　框架结构内力计算



【框架结构的内力和位移计算】

【框架结构的电算】

应用案例 5－18

图 5.29(a)所示为框架结构楼层平面图中③轴线的横向两层三跨框架的计算简图，框架在风荷载作用下的简图如图 5.29(b)所示，其内力图如图 5.29(c)、(d)、(e)所示；框架在竖向荷载作用下的简图如图 5.29(f)所示，其内力图如图 5.29(g)、(h)、(i)所示。

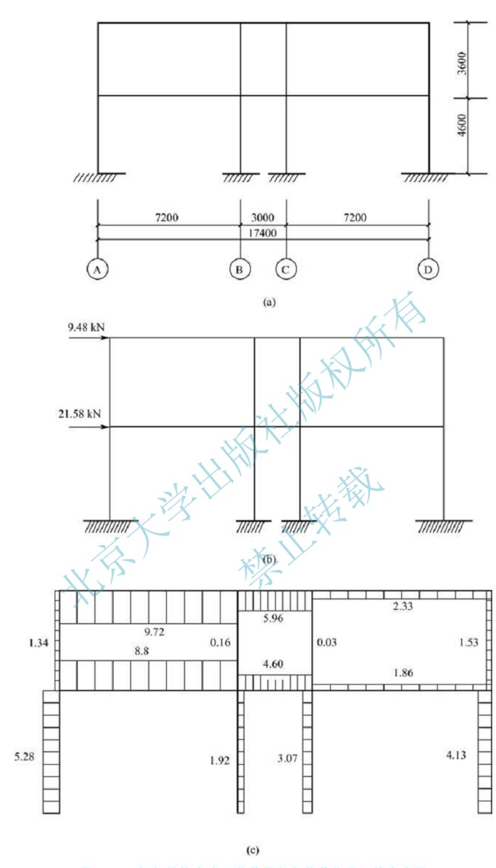


图 5.29 框架结构在水平荷载及竖向荷载作用下的内力图

(a)计算简图；(b)风荷载作用；(c) 风荷载作用下的 N 图(kN)

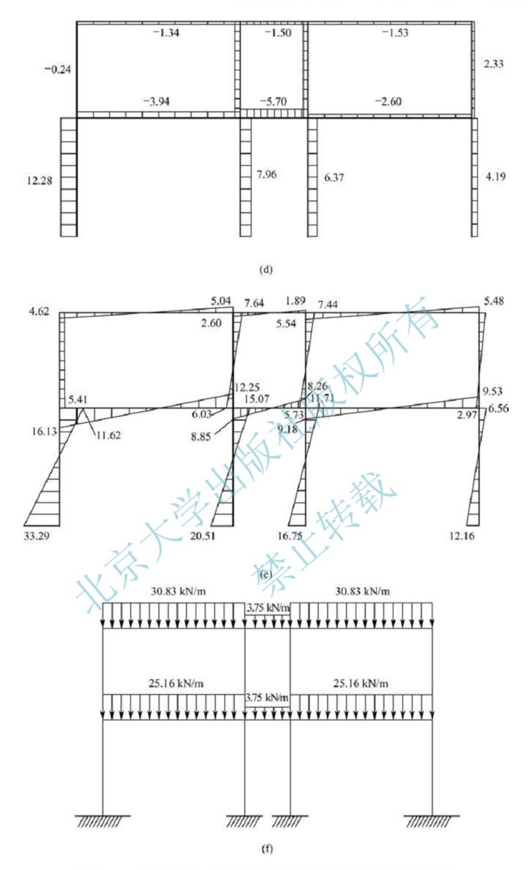


图 5.29 框架结构在水平荷载及竖向荷载作用下的内力图(续)

(d) 风荷载作用下的 V 图(kN)；(e) 风荷载作用下的 M 图(kN·m)；(f) 竖向荷载作用

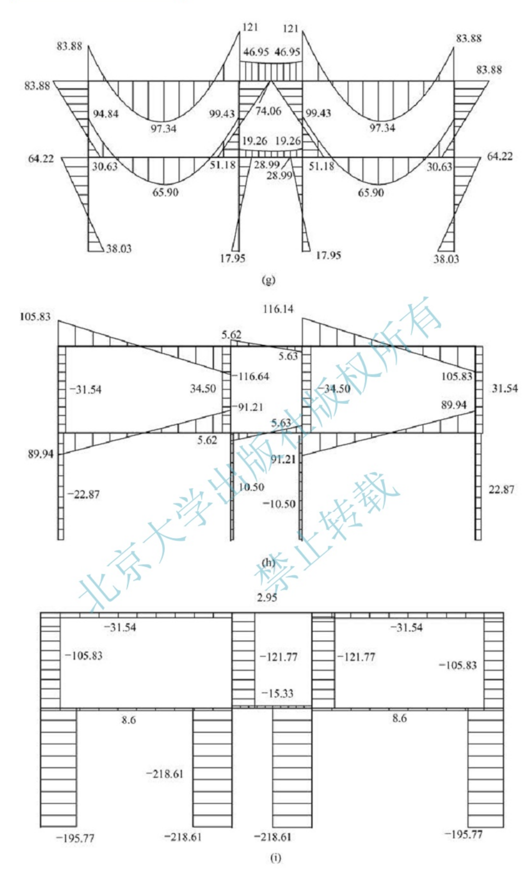


图 5.29 框架结构在水平荷载及竖向荷载作用下的内力图(续)

(g) 竖向荷载作用下的 M 图(kN・m)；(h) 竖向荷载作用下的 V 图(kN)；(i) 竖向荷载作用下的 N 图(kN)



特别提示

结构不但要承受竖向荷载，还要承担水平荷载。总的来看，在外荷载作用下，框架结构中的梁的内力以弯矩和剪力为主，柱子的内力有轴力、弯矩和剪力。以钢筋混凝土框架结构为例，梁中的受力纵筋抵抗弯矩而箍筋抵抗剪力；柱子中的纵筋抵抗轴力和弯矩，而箍筋抵抗剪力。

5.4 荷载效应组合

5.4.1 荷载效应及结构抗力

1. 荷载效应

荷载效应是指由于施加在结构或结构构件上的荷载产生的内力(拉力、压力、弯矩、剪力、扭矩)与变形(伸长、压缩、挠度、侧移、转角、裂缝)，用 S 表示。因为结构上的荷载大小、位置是随机变化的，即为随机变量，所以荷载效应一般也是随机变量。

特别提示

5.2 节及 5.3 节中求解得到的结构或结构构件的内力均是荷载效应，如梁在竖向均布荷载作用下产生的弯矩 $\boldsymbol{M}$ 和剪力 $\boldsymbol{V}$；框架结构在竖向荷载和风荷载作用下引起柱子与梁上的轴力 $\boldsymbol{N}$、弯矩 $\boldsymbol{M}$ 和剪力 $\boldsymbol{V}$。

2. 结构抗力

结构抗力是指整个结构或结构构件承受作用效应(即内力和变形)的能力，如构件的承载能力、刚度等，用 R 表示。

影响抗力的主要因素有材料性能(强度、变形模量等)、几何参数(构件尺寸)等和计算模式的精确性(抗力计算所采用的基本假设和计算公式够不够精确等)。因此，结构抗力也是一个随机变量。

特别提示

模块 2 实例一的二层砖混结构平面布置图中的简支梁 L1，截面尺寸为 250mm×500mm，C25 混凝土，配有纵向受力钢筋 3Φ20，经计算（计算方法详见模块 6），梁能够承担的弯矩为 M=136.37kN·m，即抗弯承载力，亦即抗力 R=136.67kN·m。

5.4.2 极限状态下的实用设计表达式

结构设计的原则是结构抗力 R 不小于荷载效应 S，事实上，由于结构抗力与荷载效应都是随机变量，因此，在进行结构和结构构件设计时采用基于极限状态理论和概率论的计算设计方法，即概率极限状态设计法。考虑到应用上的简便，《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 51053—2008)提出了一种便于实际使用的设计表达式，称为实用设计表达式。承载能力极限状态和正常使用极限状态实用设计表达式如下。

1. 承载能力极限状态设计表达式

对持久设计状况、短暂设计状况和地震设计状况，其设计表达式为

$$\gamma_0 S_d \leqslant R_d \tag{5-4a}$$

$$R_d = R(f_c, f_s, a_k, \cdots)/\gamma_{Rd} \tag{5-4b}$$

式中，γ_0——结构重要性系数，在持久设计状况和短暂设计状况下，对安全等级为一级的结构构件不应小于 1.1，对安全等级为二级的结构构件不应小于 1.0，对安全等级为三级的结构构件不应小于 0.9；对地震设计状况应取 1.0。

S_d——承载能力极限状态下作用组合的效应设计值，对持久设计状况和短暂设计状况应按作用的基本组合计算；对地震设计状况应按作用的地震组合计算。

R_d——结构构件的抗力设计值。

γ_{Rd}——结构构件的抗力模型不定性系数：静力设计取 1.0，对不确定性较大的结构构件根据具体情况取大于 1.0 的数值；抗震设计应用承载力抗震调整系数 γ_{RE}代替 γ_{Rd}。

f_c，f_s——混凝土、钢筋的强度设计值。

a_k——几何参数的强标准值，当几何参数的变异性对结构性能有明显的不利影响时，应增减一个附加值。

1） 荷载效应组合设计值 S_d 的计算

当结构上同时作用两种及两种以上可变荷载时，要考虑荷载效应(内力)的组合。荷载效应组合是指在所有可能同时出现的各种荷载组合中，确定对结构或构件产生的总效应，取其最不利值。承载能力极限状态的荷载效应组合分为基本组合(永久荷载＋可变荷载)与偶然组合(永久荷载＋可变荷载＋偶然荷载)两种情况。

(1) 基本组合。

① 由可变荷载效应控制的组合。

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} \gamma_{G_j} S_{G_j k} + \gamma_{L_1} \gamma_{Q_1} S_{Q_1 k} + \sum_{i=2}^{n} \psi_{c_i} \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} S_{Q_i k} \tag{5-5}$$

② 由永久荷载效应控制的组合。

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} \gamma_{G_j} S_{G_j k} + \sum_{i=1}^{n} \psi_{c_i} \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} S_{Q_i k} \tag{5-6}$$

式中，$S_{G_j k}$——按永久荷载标准值 G_jk 计算的荷载效应值；

$S_{Q_i k}$——按第 j 个可变荷载标准值 Q_ik 计算的荷载效应值，其中 S_{Q_1}k 为诸可变荷载效应中起控制作用者；

γ_{G_j}——第 j 个永久荷载分项系数，详见模块 4；

γ_{Q_i}——第 i 个可变荷载的分项系数，其中 γ_{Q_1} 为可变荷载 Q_1 的分项系数，详见模块 4；

ψ_{c_i}——第 i 个可变荷载 Q_i 的组合值系数，详见模块 4；

n——参与组合的可变荷载数；

m——参与组合的永久荷载数；

γ_{L_i}——第 i 个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数，其中 γ_{L_1} 为主导可变荷载 Q_1 考虑设计使用年限的调整系数，其取值见表 5-3。

表 5-3　楼面和屋面活荷载考虑设计使用年限的调整系数

结构设计使用年限/年	5	50	100
γ_L	0.9	1.0	1.1

注：(1) 当设计使用年限不为表中数值时，调整系数 γ_L 可按线性内插法确定。

(2) 对于荷载标准值可控制的活荷载，设计使用年限调整系数 γ_L 取 1.0。

特别提示

(1) 在未确定由可变荷载还是永久荷载起控制作用时，应分别按照式(5-5)、式(5-6)计算出荷载效应组合设计值，然后取其大值作为最终计算的荷载效应组合设计值。

(2) 当对 S_{Q_1k} 无法明显判断时，依次以各可变荷载效应为 S_{Q_1k}，选取其中最不利的荷载效应组合。

(3) 对雪荷载与风荷载，应取重现期为设计使用年限。

(2) 偶然组合。偶然组合是指一个偶然作用与其他可变荷载相结合，这种偶然作用的特点是发生概率小，持续时间短，但对结构的危害大。由于不同的偶然作用(如罕遇自然灾害、爆炸、撞击及火灾等)，其性质差别较大，目前尚难给出统一的设计表达式。规范提出对于偶然组合，承载能力极限状态设计表达式宜按下列原则确定：结构重要性系数不小于 1.0，式(5-4b)中材料强度改用标准值；当进行偶然作用下结构防连续倒塌的验算时，作用宜考虑结构相应部位倒塌冲击引起的动力系数。

2) 结构构件承载力设计值 R_d 的计算

结构构件承载力设计值与材料的强度、材料用量、构件截面尺寸、形状等有关，根据结构构件类型的不同，承载力设计值 R_d 的计算方法也不尽相同，具体计算公式将在以后的模块进行研究。

2. 正常使用极限状态设计表达式

对于正常使用极限状态，应根据不同的设计要求，采用荷载的标准组合、频遇组合或准永久组合，并按下列设计表达式进行设计，使变形、裂缝、振幅等计算值不超过相应的规定限值：

$$S_d \leqslant C \tag{5-7}$$

式中，C——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值，如变形、裂缝、振幅、加速度、应力等的限值，应按各有关规定采用。

(1) 标准组合。

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} S_{G_j k} + S_{Q_1 k} + \sum_{i=2}^{n} \psi_{c_i} S_{Q_i k} \tag{5-8}$$

(2) 频遇组合。

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} S_{G_j k} + \psi_{f_1} S_{Q_1 k} + \sum_{i=2}^{n} \psi_{q_i} S_{Q_i k} \tag{5-9}$$

式中，ψ_{f_1}——可变荷载 Q_1 的频遇值系数，详见模块 4；

ψ_{q_i}——可变荷载 Q_i 的准永久值系数，详见模块 4。

(3) 准永久组合。

$$S_d = \sum_{j=1}^{m} S_{G_j k} + \sum_{i=1}^{n} \psi_{q_i} S_{Q_i k} \tag{5-10}$$

特别提示

式(5-5)～式(5-10)中的荷载效应的基本组合仅适用于荷载效应与荷载为线性关系的情况。

应用案例 5-19

应用案例 5-2 求出了实例一砖混结构楼层平面图中简支梁 L2，已知由永久荷载产生的跨中截面弯矩标准值 $M_{Gk}=43.346\text{kN}\cdot\text{m}$，由可变荷载产生的跨中截面弯矩标准值 $M_{Qk}=21.458\text{kN}\cdot\text{m}$，安全等级为二级，求跨中截面弯矩设计值 M。

解：(1) 按由可变荷载控制的荷载效应组合设计值。

$$M_1=\gamma_G M_{Gk}+\gamma_Q M_{Qk}=1.2\times43.346+1.4\times21.458$$
$$=82.056(\text{kN}\cdot\text{m})$$

(2) 按由永久荷载控制的荷载效应组合设计值。

$$M_2=\gamma_G M_{Gk}+\psi_c\gamma_Q M_{Qk}=1.35\times43.346+0.7\times1.4\times21.458$$
$$=79.546(\text{kN}\cdot\text{m})$$

(3) 跨中弯矩设计值 M。

$$M=\max(M_1, M_2)=\max(82.056, 79.546)$$
$$=82.056\text{kN}\cdot\text{m}$$

小　结

(1) 内力是由外力(或外界因素)引起的杆件内的各部分间的相互作用力，轴向拉压时截面上的内力是轴力，它通过截面的形心并与横截面垂直。

(2) 求解截面内力的基本方法是截面法。其步骤为：首先在所求内力的截面假想切开，选择其中一部分为脱离体，另一部分留置不顾；其次绘制脱离体的受力图，应包括原来在脱离体部分的荷载与反力，以及切开截面上的待定内力；最后根据脱离体受力图建立静力平衡方程，求解方程得截面内力。

(3) 矩形截面平面弯曲梁的正应力及剪应力分布。弯矩引起截面一侧受压、另一侧受拉，其截面上任一点处的正应力的大小与该点到中性轴的距离成正比，沿截面高度呈线性变化；其剪力沿截面高度呈二次抛物线变化，中性轴处剪力最大，离中性轴越远、剪力越小，截面上、下边缘处剪力为零。

(4) 结构构件在外力作用下，截面内力随截面位置的变化而变化。为了形象、直观地表达内力沿截面位置变化的规律，通常给出内力随横截面位置变化的图形，即内力图。根据内力图可以找出构件内力最大值及其所在截面的位置。绘制静定梁内力图的方法有截面法、规律法及叠加法。

(5) 超静定结构是指从几何组成性质的角度来看，属于几何不变且有多余约束的结构，其支座反力和内力不能用平衡条件来确定。

(6) 荷载效应 S_d 是指由于施加在结构上的荷载产生的结构内力与变形，如各种构件的截面拉力、压力、弯矩、剪力、扭矩等内力和伸长、压缩、挠度、转角等变形，以及产生的裂缝、滑移等后果。结构抗力 R_d 是指整个结构或结构构件承受作用效应(即内力和变形)的能力，如构件的承载能力、刚度等。

(7) 对于承载能力极限状态，结构构件应按荷载效应(内力)的基本组合和偶然组合(必要时)进行；对于正常使用极限状态，应根据不同的设计要求，采用荷载的标准组合、频遇组合和准永久组合，使变形、裂缝、振幅等计算值不超过相应的规定限值。



习题

一、选择题

1. 截面上的内力与哪些因素没有关系？(　　)

A. 外力　　B. 位置　　C. 形状

2. 拉伸时轴力为正，方向为(　　)截面。

A. 指向　　B. 背离　　C. 平行于

3. 剪力使所在的脱离体有(　　)时转动趋势时为正，反之为负。

A. 顺时针　　B. 逆时针

4. 弯矩使所在的脱离体产生(　　)的变形为正，反之为负。

A. 下凹　　B. 上凸　　C. 上升

5. 图 5.30 所示的构件，1—1 截面的轴力为(　　)。

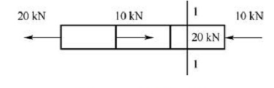


图 5.30　选择题 5 图

A. 20kN 拉力　　B. −10kN 压力　　C. 10kN 拉力

6. 在集中力作用处，(　　)不发生突变。

A. 剪力　　B. 弯矩　　C. 轴力

7. 在集中力偶作用处，(　　)发生突变。

A. 剪力　　B. 弯矩　　C. 剪力和弯矩

8. 两根跨度相同、荷载相同的简支梁，当材料相同、截面形状及尺寸不同时，其弯矩图的关系是(　　)。

A. 相同　　B. 不同　　C. 无法确定

9. 两根材料不同、截面不同的杆，当受同样的轴向拉力作用时，则它们的内力(　　)。

A. 相同　　B. 不同　　C. 不一定

10. 杆件上内力(　　)的截面称为控制截面。

A. 最大　　B. 最小　　C. 为零

11. 正应力截面的应力分量(　　)于横截面。

A. 垂直　　B. 相切　　C. 平行

12. 受弯构件，矩形截面的中性轴上其(　　)。

A. 正应力等于零　　B. 剪应力等于零　　C. 正应力与剪应力都等于零

13. 梁横截面上的应力不受哪些因素影响？(　　)

A. 截面尺寸和形状　　B. 荷载　　C. 材料

14. 下面单位换算正确的是(　　)。

A. $1MPa=1N/mm^2$　　B. $1Pa=1N/mm^2$　　C. $1Pa=1kN/mm^2$

15. 安全等级为一级的结构构件，其结构重要性系数不小于(　　)。

A. 1.2　　B. 1.1　　C. 1.0

二、判断题

1. 求解内力的基本方法就是截面法。(　　)

2. 截面法就是将一个真正的截面切构件为两部分。(　　)

3. 截面上的剪力使脱离体发生顺时针转动的趋势时为负剪力。(　　)

4. 作用线与杆轴重合的力为轴力。(　　)

5. 轴向拉压杆横截面的正应力的正负由截面上的轴力确定，当轴力为正时，正应力为拉应力。(　　)

6. 画轴力图时，正轴力画在 x 轴上方。(　　)

7. 在无荷载区，剪力图无变化，弯矩图平直线。(　　)

8. 画内力图时，剪力图正的画在 x 轴上方，负的画在 x 轴下方。(　　)

9. 负弯矩也必须画在梁的受拉一侧。(　　)

10. 平面弯曲是工程中的一种基本变形。(　　)

11. 平面弯曲时，中性轴上下两个区域内的正应力一定符号相反。(　　)

三、作图题

(1) 画出图 5.31 所示的杆件的轴力图，不用写步骤。

(2) 绘制梁的内力图。

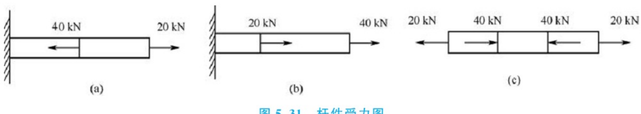


图 5.31 杆件受力图

① 图 5.32 所示为实例一砖混结构楼层平面图中简支梁 L3 的计算简图，计算跨度l_0＝2100mm，已知梁上均布荷载 q＝13.775kN/m，绘制图示梁 L3 的内力图。

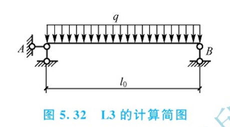


图 5.32 L3 的计算简图

② 图 5.33 所示为实例一砖混结构楼层平面图中悬挑梁 XTL2 的计算简图，l_0＝2100mm，荷载 q＝27.634kN/m，F＝12kN，绘制梁 XTL2 的内力图。

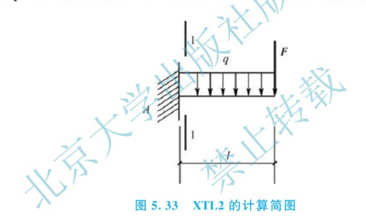


图 5.33 XTL2 的计算简图

③ 图 5.34 所示为实例一砖混结构楼层平面图中外伸梁 L7(1A) 的计算简图，l_1＝6000mm，l_2＝2200mm；荷载 q_1＝28.57kN/m，q_2＝27.634kN/m，F＝12kN，绘制梁 L7(1A) 的内力图。

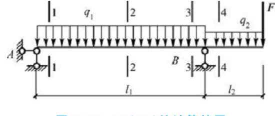


图 5.34 L7(1A) 的计算简图

四、计算题

1. 图 5.35 所示为实例一砖混结构楼层平面图中简支梁 L1 的计算简图，计算跨度 l_0＝6000mm，已知梁上均布荷载 q＝25.238kN/m，计算梁跨中截面的内力。

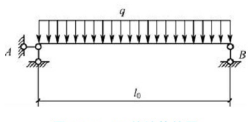


图 5.35 L1 的计算简图

2. 图 5.33 所示为实例一砖混结构楼层平面图中悬挑梁 XTL2 的计算简图，$l=2100\text{mm}$，荷载 $q=27.634\text{kN/m}$，$F=12\text{kN}$，计算 1—1 截面的内力。

3. 图 5.34 所示为实例一砖混结构楼层平面图中外伸梁 L7(1A)的计算简图，$l_1=6000\text{mm}$，$l_2=2200\text{mm}$；荷载 $q_1=28.57\text{kN/m}$，$q_2=27.634\text{kN/m}$，$F=12\text{kN}$，计算 1—1、2—2(*AB* 跨中)、3—3 及 4—4 截面的内力。

4. 应用案例 5-1 求出了实例一砖混结构楼层平面图中简支梁 L2 的支座处剪力，由永久荷载产生的剪力标准值 $V_{gk}=33.997\text{kN}$，由可变荷载产生的剪力标准值 $V_{qk}=16.83\text{kN}$，安全等级为二级，求支座处截面剪力设计值 V。



模块6 钢筋混凝土梁、板

教学目标

通过本模块的学习，掌握钢筋混凝土梁、板的构造要求及梁的设计方法；理解结构构件的设计结果是通过计算书和施工图来表达的；了解预应力混凝土的概念及其板、梁的构造。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
对钢筋混凝土梁进行设计、校核	受弯构件正截面承载力公式及适用条件，斜截面承载力计算公式及适用条件	35%
利用钢筋混凝土材料性能解决实际工程问题	钢筋、混凝土材料的种类和强度等级，混凝土与钢筋的黏结力	20%
在实际工程中理解和运用受弯构件构造知识	混凝土保护层，钢筋的锚固长度，钢筋的连接方式，梁、板构件的构造规定	35%
正确理解预应力混凝土构件的构造要求	预应力构件中施加预应力的方法，预应力梁、板构件的构造要求等	10%

学习重点

钢筋的分类及强度指标，混凝土的强度等级，钢筋和混凝土之间的黏结力，受弯构件的相关构造要求，预应力板、梁的构造要求及施加预应力的方法。

引例

1. 工程与事故概况

某教学楼为3层混合结构，纵墙承重，外墙厚300mm，内墙厚240mm，灰土基础，楼盖为现浇钢筋混凝土肋形楼盖，平面示意如图6.1所示。

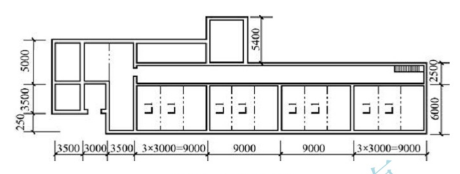


图6.1　建筑平面图

该工程在10月浇筑第二层楼盖混凝土，11月初浇筑第三层楼盖，主体结构于次年1月完成。4月做装饰工程时，发现大梁两侧的混凝土楼板上部普遍开裂，裂缝方向与大梁平行。凿开部分混凝土检查，发现板内负钢筋被踩下。施工人员决定加固楼板，7月施工，板厚由70mm增加到90mm。

该教学楼使用后，各层大梁普遍开裂，裂缝特征如下。

(1) 裂缝分布与数量：梁的两端裂缝多而密，跨中较少，每根梁裂缝数量一般为10～15条，少者4条，最多的22条，梁主筋截断处附近都产生了裂缝。

(2) 裂缝方向：多数为斜裂缝，一般倾角50°～60°，个别为40°，跨中为竖向裂缝，如图6.2所示。

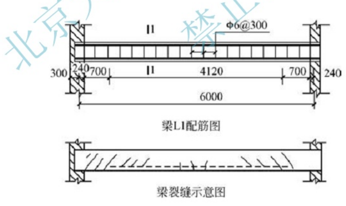


图6.2　梁L1配筋与裂缝示意图

(3) 裂缝位置：一般裂缝均在梁的中和轴以下，至受拉纵筋边缘，个别贯通梁的全高。

(4) 裂缝宽度：梁两端的裂缝较宽，约0.5～1.2mm，跨中附近裂缝较窄，约0.1～0.5mm。

(5) 裂缝深度：一般小于梁宽的1/3，个别的两面贯穿。

2. 事故原因分析

该事故原因与设计、施工均有关，但主要是施工方面的问题，具体原因如下。

(1) 施工方面存在的问题。

① 浇筑混凝土时，把板中的负弯矩钢筋踩下，造成板与梁连接处附近出现通长裂缝。

② 出现裂缝后，采用增加板厚 20mm 的方法加固，使梁的荷载加大而开裂明显。

③ 混凝土水泥用量过少，每立方米混凝土仅用水泥 210kg，而要求是不少于 250kg。

④ 第二层楼盖浇完后 2h，就在新浇楼板上铺脚手板，大量堆放砖和砂浆，并进行上层砖墙的砌筑，施工荷载超载和早龄期混凝土受振动是事故的重要原因之一。

⑤ 混凝土强度低：第三层楼盖浇筑混凝土时，室内温度已降至 0～1℃，没有采取任何冬期施工措施。试块强度 21d 才达到设计值的 42.5%，一个月的试块强度才达到 52% 的设计强度。因此混凝土早期受冻导致强度低下，是混凝土裂缝的重要原因之一。此外，混凝土振实差、养护不良以及浇筑前模板内杂物未清理干净等因素，也造成混凝土强度低下。

（2）设计方面存在的问题。

① 对楼板加厚产生的不利因素考虑不周。例如 L1 梁的设计荷载因加厚板而提高，自 15kN/m 提高到 17.105kN/m，经验算梁内主筋少了 9.4%，是跨中产生竖向裂缝的原因之一；又如，楼板加厚导致梁内剪力显著增加，剪力设计值约为无腹筋截面的抗剪强度的 1.8 倍，因此梁较易产生斜裂缝。设计存在的问题，加上施工的混凝土强度低下，使这些裂缝更加严重。

② 梁箍筋间距太大。设计规范规定：梁高为 500mm 时，箍筋最大间距为 200mm，而该工程的梁箍筋为φ6@300mm。因此虽然考虑箍筋后的截面抗剪强度略大于设计剪力值，但是因为箍筋间距太大，因而在箍筋之间的混凝土出现斜裂缝，这也是斜裂缝都成 50°～60°倾角的原因，如图 6.3 所示。

③ 纵向钢筋截断处均有斜裂缝，是由于违反设计规范“纵向钢筋不宜在受拉区截断”的构造规定而造成的。

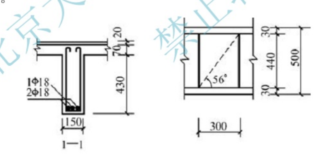


图 6.3　L1 梁局部配筋情况

6.1　混凝土结构的材料性能

在引例中了解到，事故中的教学楼楼板采用了钢筋混凝土结构，构件中用到了钢筋和混凝土两种建筑材料。

6.1.1 钢筋

混凝土结构对钢筋的性能有以下四方面的要求。

(1) 强度要高。采用强度较高的钢筋，可以节约钢材。例如，HPB300 级钢筋的强度设计值为 270N/mm^2，而 HRB400 级钢筋的强度设计值为 360N/mm^2，所以采用 HRB400 级钢筋较 HPB300 级钢筋可以节约 25%左右的钢材。

(2) 延性要好。延性是钢筋变形、耗能的能力。所谓延性好，是指钢材在断裂之前有较大的变形，能给人以明显的警示，如果延性不好，就会在没有任何征兆时发生突然脆断，后果严重。

(3) 焊接性能要好。焊接性能指把两个或两个以上金属材料焊接到一起，接口处能满足使用目的的能力。良好的焊接性使钢筋能够按照使用需要焊接，而不破坏其强度和延性。

(4) 与混凝土之间的黏结力要强。黏结力是钢筋与混凝土两种不同材料能够共同工作的基本前提之一。如果没有黏结力，杆件受力之后，两种材料各行其是，不能成为一个整体，也就谈不上钢筋混凝土构件了。

1. 钢筋的品种、级别

钢材的品种繁多，能满足混凝土结构对钢筋性能要求的钢筋，分为普通钢筋混凝土钢筋和预应力混凝土钢筋两大类；还可以按力学性能、化学成分、加工工艺、轧制外形等进行分类。

按力学性能钢筋分为不同等级，随钢筋级别的增大，钢筋强度提高，延性有所降低。

按化学成分钢筋分为碳素钢和普通低合金钢。碳素钢的强度随含碳量的提高而增加，但延性明显降低；合金钢是在碳素钢中添加了少量合金元素，使钢筋的强度提高，延性保持良好。

按生产加工工艺，钢筋分为热轧钢筋、余热处理钢筋、细晶粒热轧钢筋、钢丝、钢绞线、冷轧带肋钢筋、冷轧扭钢筋等。

按轧制外形，钢筋分为光圆钢筋、变形钢筋。我国钢筋的外形有光面、带肋、刻痕、旋扭、螺旋及绳状六大类，如图 6.4 所示。

【钢筋】

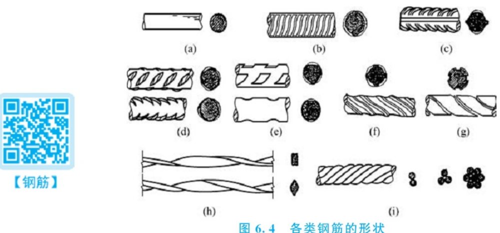


图 6.4 各类钢筋的形状

(a) 光面钢筋(钢丝)；(b) 等高肋钢筋(人字纹、螺旋纹)；(c) 月牙肋钢筋；(d) 冷轧带肋钢筋；(e) 刻痕钢丝(两面、三面)；(f) 螺旋肋钢丝；(g) 螺旋槽钢丝；(h) 冷轧扭钢筋(矩形、菱形)；(i) 绳状钢绞线(两股、三股、七股)

钢筋的具体分类见表 6-1 和表 6-2。热轧带肋钢筋的牌号由 HRB 和牌号的屈服点最小值构成，其中“H”“R”“B”分别代表“热轧”“带肋”“钢筋”3 个词。例如，HRB400 表示屈服强度标准值为 400MPa 的热轧带肋钢筋；HRBF500 表示屈服强度标准值为 500MPa 的细晶粒热轧带肋钢筋。

表 6-1　普通钢筋分类

分类 符号	按力学性能(屈服强度标准值)/(N/mm²)	按加工工艺	按轧制外形	公称直径 d/mm
ϕ	HPB300 (300)	热轧(H)	光圆(P)	6～14
ϕ	HRB335 (335)	热轧(H)	带肋(R)	6～14
ϕ	HRB400 (400)	热轧(H)	带肋(R)	6～50
ϕ^{F}	HRBF400 (400)	细晶粒热轧(F)	带肋(R)	6～50
ϕ^{R}	RRB400(400)	余热处理(R)	带肋(R)	6～50
ϕ	HRB500 (500)	热轧(H)	带肋(R)	6～50
ϕ^{F}	HRBF500 (500)	细晶粒热轧(F)	带肋(R)	6～50

表 6-2　预应力钢筋分类

分类 种类	符号	按轧制外形	公称直径 d/mm
中强度预应力钢丝	ϕ^{PM} ϕ^{HM}	光面 螺旋肋	5、7、9
预应力螺纹钢筋	ϕ^{T}	螺纹	18、25、32、40、50
消除应力钢丝	ϕ^{P} ϕ^{H}	光面 螺旋肋	5、7、9
钢绞线	ϕ^{S}	1×3(三股)	8.6、10.8、12.9
		1×7(七股)	9.5、12.7、15.2、17.8、21.6



钢筋的生产加工工艺

1. 普通钢筋混凝土用钢筋

(1) 热轧钢筋。经热轧成型并自然冷却的成品钢筋，具有较高的强度，一定的塑性、韧性、冷弯和可焊性。热辗钢筋主要有光圆钢筋和带肋钢筋两类。

(2) 细晶粒热轧钢筋。在热轧过程中，通过控轧和控冷工艺形成细晶粒钢筋。在不增加合金含量的基础上大幅提高钢材的强度和韧性。

(3) 余热处理钢筋。热轧后进行控制冷却，并利用芯部余热自身完成回火处理的钢筋。余热处理钢筋的焊接性能与热轧钢筋相比，有一定的差异，延性稍低，但强度提高，而且节约了热处理成本，是新型的钢筋热处理工艺。

2. 预应力混凝土用钢筋

(1) 中强度预应力钢丝。强度级别为 800～1370MPa 的冷加工或冷加工后热处理钢丝。

(2) 热处理钢筋。将热轧的带肋钢筋(中碳低合金钢)经淬火和高温回火调质处理而成的。其特点是延性降低不大，但强度提高很多，综合性能比较理想。主要用于预应力混凝土。

(3) 预应力螺纹钢筋。采用热轧、轧后余热处理或热处理等工艺生产的预应力混凝土用螺纹钢筋。

(4) 预应力钢绞线。是由 3 根或 7 根高强度钢丝构成的绞合钢缆，并经消除应力(即稳定化)处理。

(5) 消除应力钢丝。即碳素钢丝，是由高碳钢条经淬火、酸洗、拉拔制成的。

2. 钢筋的力学性能

1) 钢筋的拉伸试验

钢筋的强度、延性等力学性能指标是通过钢筋的拉伸试验得到的。

图 6.5 所示是热轧低碳钢在试验机上进行拉伸试验得出的典型应力-应变曲线。从图中可以看出应力-应变曲线上有一个明显的台阶(图 6.5 中 cd 段)，称为屈服台阶，说明低碳钢有良好的纯塑性变形性能。低碳钢在屈服时对应的应力 f_y 称为屈服强度，是钢筋强度设计时的主要依据。应力的最大值 f_u 称为极限抗拉强度。极限抗拉强度与屈服强度的比值 f_u/f_y，反映钢筋的强度储备，称为强屈比，热轧钢筋通常在 1.4～1.6 之间。钢筋拉


【钢筋拉伸试验】

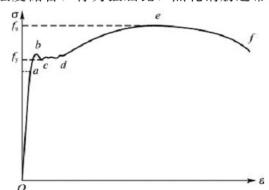


图 6.5　有明显屈服点钢筋的应力-应变关系

断后的伸长值与原始长度的比率称为伸长率 δ，是反映钢筋延性性能的指标。延伸率大的钢筋，在拉断前有足够预兆，延性较好。

图 6.6 所示是高强钢丝的应力-应变曲线，在与图 6.5 的对比中能看到有明显屈服点钢筋与无明显屈服点钢筋力学性能的差别。

高强钢丝的应力-应变曲线没有明显的屈服点，表现出强度高、延性低的特点。设计时取残余应变为 0.2%时的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为假想屈服强度，称为“条件屈服强度”。实际应用时按极限抗拉强度 σ_b 的 85%取用。

2） 钢筋的冷弯试验

在常温下将钢筋绕规定的直径 D 弯曲 α 角度而不出现裂纹、鳞落和断裂现象，即认为钢筋的冷弯性能符合要求(图 6.7)。D 越小，α 越大，则弯曲性能越好。通过冷弯既能够检验钢筋变形能力，又可以反映其内在质量，是比延伸率更严格的检验指标。

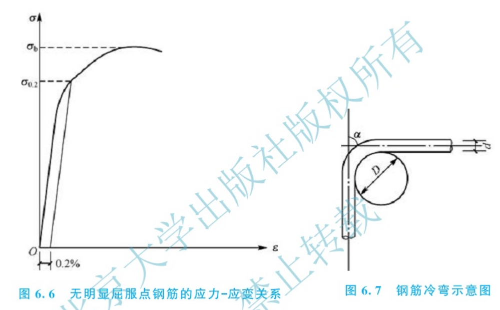


图 6.6 无明显屈服点钢筋的应力-应变关系

图 6.7 钢筋冷弯示意图



特别提示

对有明显屈服点的钢筋进行质量检验时，主要测定四项指标：屈服强度、极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能；对没有明显屈服点钢筋的质量检验须测定三项指标：极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能。

3. 钢筋的强度指标概述

（1） 钢筋强度标准值。如前述，钢筋的强度是通过试验测得的。即使同一种类的钢材，由于各种原因，其强度值也会存在一定差异。为保证结构设计的可靠性，对同一强度等级的钢筋，取具有一定保证率的强度值作为该等级的标准值，材料强度的标准值应具有不少于 95%的保证率。

（2） 钢筋强度设计值。钢筋混凝土结构按承载力设计计算时，钢筋应采用强度设计值。强度设计值为强度标准值除以材料的分项系数 γ_s。400MPa 及以下普通钢筋的材料分项系数为 1.10，500MPa 的钢筋取 1.15，预应力用钢筋的材料分项系数为 1.2。

普通钢筋、预应力钢筋强度标准值、设计值及钢筋弹性模量见附录 D 表 D1、表 D2。

6.1.2 混凝土概述

1. 混凝土的强度

混凝土是由砂、石、水泥和水按一定比例混合而成的。混凝土承受压力的能力要远远大于承受的拉力，故混凝土在结构中主要起承担压力的作用。因此，抗压强度就成为它所有力学性能中最为重要的性能。为了设计、施工和质量检验的方便，必须对混凝土的强度规定统一的级别，混凝土立方体抗压强度是划分混凝土强度等级的主要标准。

（1）立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$。立方体抗压强度标准值是按照标准方法制作、养护的边长为150mm×150mm×150mm的立方体试件，在28d龄期用标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度，用符号 $f_{cu,k}$ 表示。依此将混凝土划分为14个强度等级：C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80。C代表混凝土强度等级，数字代表混凝土承受的抗压强度值，单位为 N/mm^2。其中，C50～C80属高强度混凝土。

需要指出，立方体的受力情况并不能代表实际混凝土构件中的受力情况，它只是作为一种在给定的统一试验方法下衡量混凝土强度的基本方法，因为这种试件的制作和试验方法简便，结果可靠。


【混凝土立方体抗压强度试验】

（2）混凝土轴心抗压强度 f_c。实际工程中钢筋混凝土构件的长度要比截面尺寸大得多，故取棱柱体（150mm×150mm×300mm或150mm×150mm×450mm）标准试件测定混凝土轴心抗压强度。

（3）混凝土轴心抗拉强度 f_t。混凝土的轴心抗拉强度比抗压强度小得多，一般只有抗压强度的5%～10%。混凝土构件的开裂、变形以及受剪、受扭、受冲切等承载力均与混凝土抗拉强度有关。

特别提示

混凝土轴心抗压强度和轴心抗拉强度都可通过对比试验由立方体抗压强度推算求得，三者之间的大小关系是：$f_{cu}>f_c>f_t$。

2. 混凝土的计算指标

（1）混凝土强度标准值。混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 和轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 具有95%的保证率。

（2）混凝土强度设计值。混凝土强度设计值为混凝土强度标准值除以混凝土的材料分项系数 γ_c。即 $f_c=f_{ck}/\gamma_c$，$f_t=f_{tk}/\gamma_c$。混凝土的材料分项系数 $\gamma_c=1.4$，取值是根据可靠度分析和工程经验校准法确定的。混凝土强度标准值、设计值及混凝土弹性模量见附录D表D3。

3. 混凝土的收缩和徐变

（1）混凝土的收缩。混凝土在空气中硬化体积缩小的现象称为混凝土的收缩。混凝土的收缩对混凝土的构件会产生有害的影响，例如使构件产生裂缝，对预应力混凝土构件会

引起预应力损失等。减少收缩的主要措施：控制水泥用量及水灰比、混凝土振捣密实、加强养护等，对纵向延伸的结构，在一定长度上需设置伸缩缝。

（2）混凝土的徐变。混凝土在长期不变荷载作用下应变随时间继续增长的现象称为混凝土的徐变。混凝土的徐变在不同结构物中有不同的作用。对普通钢筋混凝土构件，能消除混凝土内部温度应力和收缩应力，减弱混凝土的开裂现象。对预应力混凝土结构，混凝土的徐变使预应力损失大大增加，这是极其不利的。

影响混凝土徐变的因素主要有：①水泥用量越大(水灰比一定时)，徐变越大；②水灰比越小，徐变越小；③构件龄期长、结构致密、强度高，则徐变小，因此混凝土过早的受荷(即过早地拆除底板)对混凝土是不利的；④骨料用量多，弹性模量高，级配好，最大粒径大，则徐变小；⑤应力水平越高，徐变越大；⑥养护温度越高，湿度越大，水泥水化作用越充分，徐变越小。

4. 混凝土的耐久性

混凝土的耐久性是指在外部和内部不利因素的长期作用下，必须保持适合于使用，而不需要进行维修加固，即保持其原有设计性能和使用功能的性质。外部因素指的是酸、碱、盐的腐蚀作用，冰冻破坏作用，水压渗透作用，碳化作用，干湿循环引起的风化作用，荷载应力作用和振动冲击作用等。内部因素主要指的是碱骨料反应和自身体积变化。通常用混凝土的抗渗性、抗冻性、抗碳化性能、抗腐蚀性能和碱骨料反应综合评价混凝土的耐久性。

提高混凝土耐久性的措施主要包括以下几个方面。

① 选用适当品种的水泥及掺合料；②适当控制混凝土的水灰比及水泥用量；③长期处于潮湿和严寒环境中的混凝土，应掺用引气剂；④选用较好的砂、石集料；⑤掺用加气剂或减水剂；⑥改善混凝土的施工操作方法。

混凝土结构耐久性应根据设计使用年限和环境类别进行设计。混凝土结构的环境类别划分应符合附录 D 表 D4 的要求。设计使用年限为 50 年的混凝土结构，其混凝土材料宜符合附录 D 表 D5 的规定。

6.1.3 钢筋与混凝土的共同工作原理

1. 钢筋和混凝土共同工作的原因

（1）钢筋与混凝土之间存在黏结力。钢筋和混凝土之所以能有效地结合在一起共同工作，主要原因是混凝土硬化后与钢筋之间产生了良好的黏结力。当钢筋与混凝土之间产生相对变形(滑移)时，在钢筋和混凝土的交界面上会产生沿钢筋轴线方向的相互作用力，此作用力称为黏结力。

钢筋与混凝土之间的黏结力由以下三部分组成。

① 由于混凝土收缩将钢筋紧紧握裹而产生的摩阻力。

② 由于混凝土颗粒的化学作用产生的混凝土与钢筋之间的胶合力。

③ 由于钢筋表面凹凸不平与混凝土之间产生的机械咬合力。

上述三部分中，以机械咬合力作用最大，约占总黏结力的一半以上。变形钢筋比光面钢筋的机械咬合力作用大。此外，钢筋表面的轻微锈蚀也可增加它与混凝土的黏结力。

(2) 钢筋和混凝土的温度线膨胀系数几乎相同，在温度变化时，二者的变形基本相等，不致破坏钢筋混凝土结构的整体性。

(3) 钢筋被混凝土包裹着，从而使钢筋不会因大气的侵蚀而生锈变质，提高耐久性。

2. 影响钢筋和混凝土黏结强度的因素

(1) 混凝土强度：混凝土强度等级越高，黏结强度越大。

(2) 混凝土保护层厚度：混凝土保护层较薄时，其黏结力将降低，并易在保护层最薄弱处出现纵向劈裂裂缝，使黏结力提早破坏。

(3) 钢筋间的净距 s：钢筋间净距越小，黏结强度降低越多。

(4) 横向钢筋的数量：横向钢筋(如箍筋)可以限制混凝土内部裂缝的发展，防止保护层脱落，并保护后期黏结强度。

(5) 横向约束应力：横向压应力约束了混凝土的横向变形，增大了摩阻力，因而提高了黏结强度。

(6) 钢筋的表面形状：变形钢筋的黏结强度大于光面钢筋。工程中通过将光面钢筋端部加做弯钩来增加其黏结强度。

3. 保证钢筋与混凝土黏结力的构造措施

工程中，必须采取有效的构造措施加以保证。例如，钢筋伸入支座应有足够的锚固长度；保证钢筋最小搭接长度；钢筋的间距和混凝土的保护层不能太小；要优先采用小直径的变形钢筋；光面钢筋末端应设弯钩；钢筋不宜在混凝土的拉区截断；在大直径钢筋的搭接和锚固区域内宜设置横向钢筋(如箍筋)等，以上构造措施的具体规定详见6.2节。

6.2 钢筋混凝土梁、板的构造规定

6.2.1 一般规定

1. 钢筋级别及混凝土强度等级的选择

(1) 纵向受力普通钢筋宜选用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋，也可采用 HRB335、HPB300、RRB400 钢筋。其中 HRB400 级钢筋具有强度高、延性好、与混凝土结合握裹力强等优点，是目前我国钢筋混凝土结构的主力钢筋。

箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋，也可采用 HRB335 钢筋。

预应力钢筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。

(2) 钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C20；采用强度等级 400MPa 及以上的钢筋时，混凝土强度等级不应低于 C25。承受重复荷载的钢筋混凝土构件，混凝土

强度等级不应低于 C30。预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30。

2. 混凝土保护层

在钢筋混凝土构件中，为防止钢筋锈蚀，并保证钢筋和混凝土牢固黏结在一起，钢筋外面必须有足够厚度的混凝土保护层。由最外层钢筋的外边缘到混凝土表面的距离称为混凝土保护层(图 6.8)。混凝土保护层的作用如下。

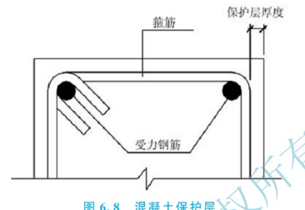




图 6.8　混凝土保护层

(1) 维持受力钢筋与混凝土之间的黏结力。钢筋周围混凝土的黏结力很大程度上取决于混凝土握裹层的厚度，两者是成正比的。保护层过薄或缺失时，受力钢筋的作用不能正常发挥。

(2) 保护钢筋免遭锈蚀。混凝土的碱性环境使包裹在其中的钢筋不易锈蚀。一定的保护层厚度是保证结构耐久性所必需的条件。

(3) 提高构件的耐火极限。混凝土保护层具有一定的隔热作用，遇到火灾时能对钢筋进行保护，使其强度不致降低过快。

混凝土结构构件中受力钢筋的保护层厚度不应小于钢筋的公称直径 d。设计使用年限为 50 年的混凝土结构，钢筋保护层厚度应符合附录 D 表 D6 的规定；设计使用年限为 100 年的混凝土结构，应按该表的规定增加 40%；当采取有效的表面防护及定期维修等措施时，保护层厚度可适当减少。

当有充分依据并采取下列有效措施时，可适当减小混凝土保护层的厚度。

(1) 构件表面有可靠的防护层。

(2) 采用工厂化生产的预制构件，并能保证预制构件混凝土的质量。

(3) 在混凝土中掺加阻锈剂或采用阴极保护处理等防锈措施。

(4) 当对地下室墙体采取可靠的建筑防水做法或防护措施时，与土层接触一侧钢筋的保护层厚度可适当减少，但不应小于 25mm。

当梁、柱、墙中纵向受力钢筋的保护层厚度大于 50mm 时，宜对保护层采取有效的构造措施。可在保护层内配置防裂、防剥落的焊接钢筋网片，网片钢筋的保护层厚度不应小于 25mm，并采取有效的绝缘、定位措施。

3. 钢筋的锚固

钢筋的锚固是保证构件承载力至关重要的因素。对图 6.9 所示的梁受拉钢筋在支座处必须要有足够的锚固长度，才能在受力钢筋中建立能发挥钢筋强度的应力。如果钢筋锚固黏结长度不够，将会使构件提前破坏，引起承载力丧失并引发塌垮等灾难性后果。

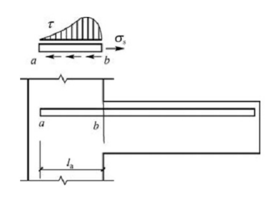


图 6.9 钢筋在支座中的锚固长度

(1) 钢筋的基本锚固长度 l_{ab}。钢筋的基本锚固长度一般指受力钢筋通过混凝土与钢筋的黏结将所受的力传递给混凝土所需的长度。受拉钢筋的基本锚固长度为

$$l_{ab}=\alpha\frac{f_y}{f_t}d \tag{6-1}$$

式中,f_y——普通钢筋的抗拉强度设计值(N/mm²);

f_t——锚固区混凝土轴心抗拉强度设计值,当混凝土强度等级高于 C60 时,按 C60 取值(N/mm²);

d——锚固钢筋的直径(mm);

α——锚固钢筋的外形系数,按表 6-3 取值。

表 6-3 锚固钢筋的外形系数 α

钢筋类型	光面钢筋	带肋钢筋	螺旋肋钢丝	三股钢绞线	七股钢胶线
α	0.16	0.14	0.13	0.16	0.17

注:光面钢筋末端应做 180°弯钩,弯后平直段长度不应小于 $3d$,但作受压钢筋时可不做弯钩。

(2) 受拉钢筋的锚固长度 l_a。受拉钢筋的锚固长度应根据锚固条件按下列公式计算,且不应小于 200mm。

$$l_a=\zeta_a l_{ab} \tag{6-2}$$

式中,ζ_a——锚固长度修正系数,按下列规定取用,当多于一项时,可按连乘计算,但不应小于 0.6;对预应力筋,可取 1.0。

① 当带肋钢筋的公称直径大于 25mm 时取 1.10。

② 环氧树脂涂层带肋钢筋取 1.25。

③ 施工过程中易受扰动的钢筋取 1.10。

④ 当纵向受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算面积时,修正系数取设计计算面积与实际配筋面积的比值,但对有抗震设防要求及直接承受动力荷载的结构构件,不应考虑此项修正。

⑤ 锚固区保护层厚度为 $3d$ 时修正系数可取 0.80,保护层厚度为 $5d$ 时修正系数可取 0.70,中间按内插取值,此处 d 为纵向受力带肋钢筋的直径。

特别提示

l_{ab}及 l_a 除了可以按照式(6-1)及式(6-2)计算外，也可通过查附录D表D15来确定。

(3) 锚固区横向构造钢筋。为防止锚固长度范围内的混凝土破碎，应配置横向构造钢筋加以约束，以维持其锚固能力。当锚固钢筋保护层厚度不大于 $5d$ 时，锚固长度范围内应配置横向构造钢筋，其直径不应小于 $d/4$；对于梁、柱一类的杆状构件间距不应大于 $5d$，对板、墙一类的平面构件间距不应大于 $10d$，且均不应大于100mm，d 为锚固钢筋的直径。

(4) 纵向钢筋的机械锚固。当支座构件因截面尺寸限制而无法满足规定的锚固长度要求时，采用钢筋弯钩或机械锚固是减少锚固长度的有效方式，如图6.10所示。包括弯钩或锚固端头在内的锚固长度(投影长度)可取为基本锚固长度 l_{ab}的60%。钢筋弯钩或机械锚固的形式和技术要求应符合表6-4的规定。

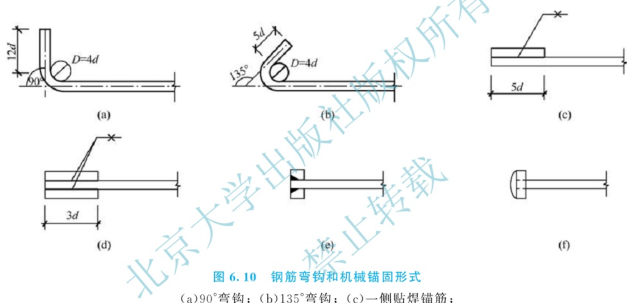


图6.10 钢筋弯钩和机械锚固形式

(a)90°弯钩；(b)135°弯钩；(c)一侧贴焊锚筋；
(d)两侧贴焊锚筋；(e)穿孔塞焊锚板；(f)螺栓锚头

表6-4 钢筋弯钩或机械锚固的形式和技术要求

锚固形式	技术要求
90°弯钩	末端90°弯钩，弯钩内径 $4d$，弯后直段长度 $12d$
135°弯钩	末端135°弯钩，弯钩内径 $4d$，弯后直段长度 $5d$
一侧贴焊锚筋	末端一侧贴焊长 $5d$ 同直径钢筋
两侧贴焊锚筋	末端两侧贴焊长 $3d$ 同直径钢筋
穿孔塞焊锚板	末端与厚度 d 的锚板穿孔塞焊
螺栓锚头	末端旋入螺栓锚头

注：(1) 焊缝和螺纹长度应满足承载力要求。
(2) 焊接锚板和螺栓锚头的承压净面积不应小于锚固钢筋截面积的4倍。
(3) 螺栓锚头的规格应符合相关标准的要求。
(4) 螺栓锚头和焊接锚板的钢筋间距不宜小于 $4d$ 时，否则应考虑群锚效应的不利影响。
(5) 截面角部的弯钩和一侧贴焊锚筋的布筋方向宜向截面内侧偏置。



(5) 受压钢筋的锚固。混凝土结构中的纵向受压钢筋，当计算中充分利用钢筋的抗压强度时，受压钢筋的锚固长度不应小于相应受拉钢筋锚固长度的70%。由于弯钩及贴焊锚筋等机械锚固形式在承受压力作用时往往会引起偏心作用，容易发生压曲而影响构件的受力性能，因此不应采用弯钩、贴焊锚筋等形式的机械锚固。

(6) 纵向钢筋在梁简支支座内的锚固。钢筋混凝土简支梁和连续梁简支端的下部纵向受力钢筋，从支座边缘算起伸入梁支座内的锚固长度 l_{as}(图 6.11)应符合下列规定。

① 当 $V \leqslant 0.7 f_t b h_0$ 时　　$l_{as} \geqslant 5d$

当 $V > 0.7 f_t b h_0$ 时

带肋钢筋　　$l_{as} \geqslant 12d$

光面钢筋　　$l_{as} \geqslant 15d$

此处，d 为钢筋的最大直径。

② 如纵向受力钢筋伸入梁支座范围内的锚固长度不符合上述要求时，应采取前述纵向钢筋的机械锚固措施。

③ 支承在砌体结构上的钢筋混凝土独立梁，在纵向受力钢筋的锚固长度 l_{as} 范围内应配置不少于两根箍筋(图 6.11)，其直径不宜小于纵向受力钢筋最大直径的25%，间距不宜大于纵向受力钢筋最小直径的10倍。伸入梁支座范围内的纵向受力钢筋不应少于两根。

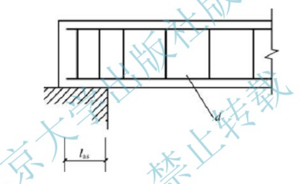


图 6.11　纵向受力钢筋伸入简支支座范围内的锚固

(7) 板中受力钢筋的锚固。对于板，一般剪力较小，通常能满足 $V \leqslant 0.7 f_t b h_0$ 的条件，故板的简支支座和中间支座下部纵向受力钢筋伸入支座的锚固长度均取 $l_{as} \geqslant 5d$。

(8) 箍筋的锚固。箍筋在构件中的主要作用是抗剪，它本身是受拉钢筋，必须有良好的锚固。通常箍筋采用封闭式(图 6.12)。

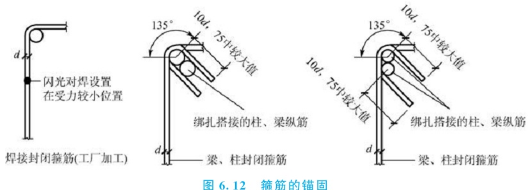
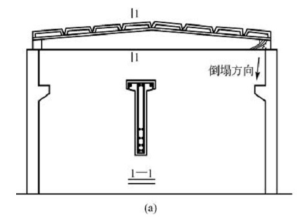


图 6.12　箍筋的锚固

应用案例 6－1

某锻工车间屋面梁为12m跨度的T形薄腹梁。在车间建成后使用不久，梁端头突然断裂，造成厂房部分倒塌，如图6.13(a)所示。倒塌构件包括屋面大梁及大型屋面板。



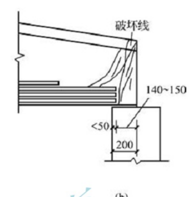


图 6.13　受力钢筋锚固长度不合要求造成的后果

【案例点评】

经现场调查分析，该屋面梁混凝土强度能满足设计要求，从梁端断裂处看，大梁支承端钢筋深入支座的锚固长度太少是导致事故发生的主因。该梁设计要求钢筋伸入支座锚固长度至少应为150mm，实际上不足50mm；图纸标明钢筋端头至梁端为40mm，实际上却有140～150mm，如图6.13(b)所示。因此，梁端与柱的连接接近于素混凝土节点，这是非常不可靠的。加之本车间为锻工车间，投产后锻锤的振动力很大，这在一定程度上增加了大梁的负荷，使梁柱连接处的构造做法更加恶化，最终导致大梁的断裂。

4. 钢筋的连接

受钢筋供货条件的限制，实际施工中钢筋长度不够时，常需要连接。钢筋的连接可分为三类：绑扎搭接、机械连接及焊接连接。由于钢筋通过连接接头传力总不如整体钢筋可靠，所以钢筋连接的原则是：接头宜设置在受力较小处，同一纵向受力钢筋不宜设置两个或两个以上接头，在结构的重要构件和关键传力部位，如柱端、梁端的箍筋加密区，纵向受力钢筋不宜设置连接接头。同一构件中相邻纵向受力钢筋的连接接头宜相互错开(图6.14)。

图 6.14　同一连接区段内纵向受拉钢筋绑扎搭接接头示意

(图示接头面积百分率为50%)

特别提示

钢筋的连接区段长度，对绑扎连接为1.3倍搭接长度；对机械连接为35d；对焊接连接为35d且不小于500mm。d为纵向受力钢筋的较小直径。凡连接接头的中点位于该连接区段长度范围内，均属同一连接区段(图6.14)。

(1) 绑扎搭接。钢筋搭接要有一定的长度才能传递黏结力。纵向受拉钢筋的最小搭接长度l_l按下式计算。在任何情况下，纵向受拉钢筋的搭接长度不应小于300mm。

$$l_l=\zeta_l l_a \tag{6-3}$$

式中，ζ_l——纵向受拉钢筋搭接长度修正系数，按表6-5采用。当纵向搭接钢筋接头面积百分率为表的中间值时，修正系数可按内插取值。

采用绑扎搭接时，受拉钢筋直径不宜大于25mm，受压钢筋直径不宜大于28mm。

表6-5　纵向受拉钢筋搭接长度修正系数

纵向搭接钢筋接头面积百分率/%	≤25	50	100
ζ_l	1.2	1.4	1.6

纵向搭接钢筋接头面积百分率(%)的意义是：同一连接区段，需要接头的钢筋截面面积与全部纵向钢筋总截面面积之比。同一连接区段内，受拉钢筋搭接接头面积百分率：对梁、板、墙类构件不宜大于25%；对柱类构件不宜大于50%。当工程中确有必要增大接头面积百分率时，对梁类构件，不宜大于50%；对板、墙、柱等其他构件，可根据实际情况放宽。

纵向受压钢筋搭接时，其最小搭接长度应根据式(6-3)的规定确定后，再乘以系数0.7取用。在任何情况下，受压钢筋的搭接长度不应小于200mm。

绑扎搭接接头中钢筋的横向净距不应小于钢筋直径，且不应小于25mm。搭接长度的末端与钢筋弯折处的距离，不得小于钢筋直径的10倍。接头不宜位于构件最大弯矩处。在受拉区域内，光面钢筋绑扎接头的末端应做弯钩[图6.15(a)]，变形钢筋可不做弯钩[图6.15(b)]。

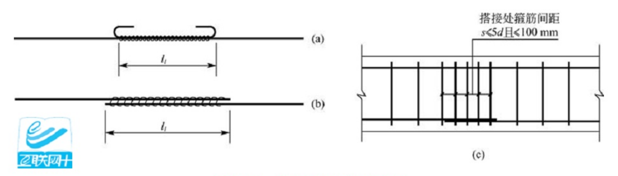


图6.15　钢筋的绑扎搭接连接

(a) 光面钢筋；(b) 变形钢筋；(c) 搭接处箍筋加密

在纵向受力钢筋搭接长度范围内，应配置符合下列规定的箍筋。

① 箍筋直径不应小于搭接钢筋较大直径的0.25倍。

② 搭接区段的箍筋间距不应大于搭接钢筋较小直径的5倍，且不应大于100mm[图6.15(c)]。

③ 当受压钢筋(如柱中纵向受力钢筋)直径大于25mm时，应在搭接接头两个端面外100mm范围内各设置两个箍筋，其间距宜为50mm。

(2) 机械连接。钢筋机械连接是通过连接件的机械咬合作用或钢筋端面的承压作用，将一根钢筋中的力传递至另一根钢筋的连接方法(图6.16)。机械连接具有施工简便、接头质量可靠、节约钢材和能源等优点。常采用的连接方式有套筒挤压、直螺纹连接等。

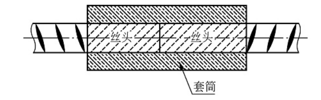




图6.16 钢筋的机械连接(直螺纹连接)

纵向受力钢筋的机械连接接头宜相互错开。同一连接区段内，纵向受拉钢筋接头面积百分率不宜大于50%；但对于板、墙、柱及预制构件的拼接处，可根据实际情况放宽。受压钢筋不受此限制。

机械连接套筒的混凝土保护层厚度宜满足钢筋最小保护层厚度的要求。套筒的横向净距不宜小于25mm；套筒处箍筋的间距仍应满足相应的构造要求。

(3) 焊接连接。利用热加工，熔融金属实现钢筋的连接。常采用的连接方式有对焊(图6.17)、点焊、电弧焊、电渣压力焊等。

采用焊接连接时，同一连接区段内，纵向受拉钢筋接头面积百分率不宜大于50%，但对预制构件拼接处，可根据实际情况放宽。受压钢筋不受此限。



图6.17 钢筋的对焊

【电渣压力焊】

5. 抗震构造规定

1) 材料的选择

(1) 混凝土强度等级：一般结构构件不应低于C20，框支梁与框支柱及抗震等级为一级的框架梁、柱、节点核心区不应低于C30。

(2) 钢筋：普通纵向受力钢筋宜选用符合抗震性能指标的不低于HRB400级的热轧钢筋，也可采用符合抗震性能指标的HRB335级热轧钢筋；箍筋宜选用符合抗震性能指标的不低于HRB335级的热轧钢筋，也可选用HPB300级热轧钢筋。

按一、二、三级抗震等级设计的各类框架中的纵向受力钢筋，其抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于1.25；同时钢筋的屈服强度实测值与强度标准值的比值不应大于1.3，且钢筋在最大拉力下的总伸长率实测值不应小于9%，这是为了保证结构破坏时有足够的延性。

(3) 在施工中，当需要以强度等级较高的钢筋替代原设计中的纵向受力钢筋时，应按照钢筋受拉承载力设计值相等的原则换算，并应满足最小配筋率要求。钢筋混凝土结构构件中纵向受力钢筋最小配筋百分率见附录D表D8。

2）纵向受拉钢筋的抗震锚固长度 l_{aE}

当结构有地震荷载作用时，构件中受力钢筋的锚固会处在更为不利的状态下。因此对有抗震设防要求的混凝土结构构件，应根据结构不同的抗震等级增大其锚固长度。纵向受拉钢筋的抗震锚固长度 l_{aE} 应按下式计算，也可查附录 D 表 D18。

一、二级抗震等级

$$l_{aE}=1.15l_a \tag{6-4}$$

三级抗震等级

$$l_{aE}=1.05l_a \tag{6-5}$$

四级抗震等级

$$l_{aE}=l_a \tag{6-6}$$

特别提示

结构抗震等级的分类见模块 8 表 8-1。

3）纵向受拉钢筋的抗震搭接长度 l_{lE}

抗震搭接长度 l_{lE} 按下式计算，也可查附录 D 表 D20。

$$l_{lE}=\zeta_l l_{aE} \tag{6-7}$$

在纵向受力钢筋抗震搭接长度范围内配置的箍筋，必须满足下列规定。

(1) 箍筋直径不应小于搭接钢筋较大直径的 25%倍。

(2) 间距不应大于搭接钢筋较小直径的 5 倍，且不应大于 100mm。

4）钢筋的连接要求

在抗震结构中，构件纵向受力钢筋的连接可采用绑扎搭接、机械连接或焊接。连接接头位置宜避开梁端、柱端箍筋加密区；无法避开时，应采用机械连接或焊接。位于同一连接区段内的纵向受力钢筋接头面积百分率不宜超过 50%。

5）箍筋

箍筋宜采用焊接封闭箍筋、连续螺旋箍筋或连续复合螺旋箍筋。当采用非焊接封闭箍筋时，其末端应做成 135°弯钩，弯钩端头平直段长度不应小于 10 倍箍筋直径与 75mm 中的较大值(图 6.18)，以保证箍筋对中心区混凝土的有效约束；在纵向钢筋搭接长度范围内的箍筋间距不应大于搭接钢筋较小直径的 5 倍，且不宜大于 100mm。

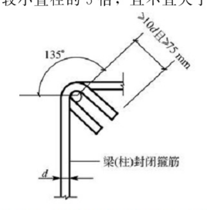


图 6.18 非焊接封闭箍筋的抗震构造

6.2.2 梁的构造规定

1. 梁的截面

梁的截面形式常见的有矩形、T形、I形，考虑到施工方便和结构整体性要求，工程中也有采用预制和现浇结合的方法，形成叠合梁和叠合板，如图6.19所示。

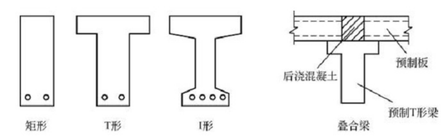


图6.19 梁的截面形式

梁截面高度 h 与梁的跨度及所受荷载大小有关。一般按高跨比 h/l 估算，如简支梁的高度 $h=(1/12\sim1/8)l$；悬臂梁的高度 $h=l/6$；多跨连续梁 $h=(1/18\sim1/12)l$。

梁截面宽度常用截面高宽比 h/b 确定。对于矩形截面一般 $h/b=2\sim3.5$；对于T形截面一般 $h/b=2.5\sim4.0$。

为了统一模板尺寸和便于施工，通常采用梁宽度 $b=150$mm、180mm、200mm…，当 $b>200$mm 时采用50mm的倍数；梁高度 $h=250$mm、300mm…，当 $h\leqslant800$mm 时采用50mm的倍数，当 $h>800$mm 时采用100mm的倍数。

2. 梁的配筋

梁中的钢筋有纵向受力钢筋、弯起钢筋、箍筋和架立筋等，如图6.20所示。

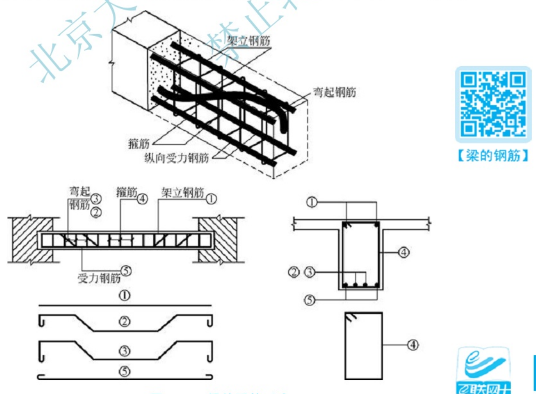


图6.20 梁的配筋形式

1）纵向受力钢筋

纵向受力钢筋主要承受弯矩产生的拉力，如图 6.20 中所示的⑤号钢筋。其常用直径为 12～25mm。为保证钢筋与混凝土之间具有足够的黏结力和便于浇筑混凝土，梁的上部纵向钢筋水平方向的净间距不应小于 30mm 和 1.5d，下部纵向钢筋的水平净间距不应小于 25mm 和 d。当梁的下部纵向钢筋配置多于两层时，两层以上钢筋水平方向的中距应比下面两层的中距增大一倍；各层钢筋之间的净间距应不小于 25mm 和 d，d 为纵向钢筋的最大直径，如图 6.21 所示。

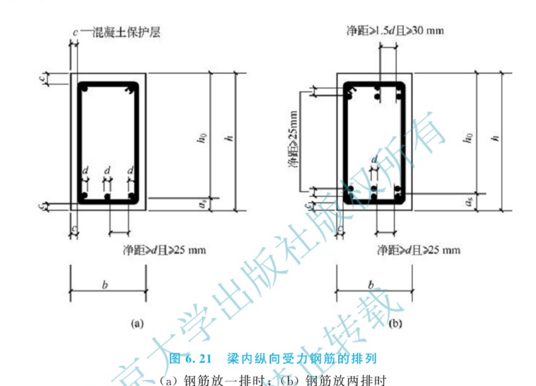


图 6.21　梁内纵向受力钢筋的排列

(a) 钢筋放一排时；(b) 钢筋放两排时

图 6.21 中，h_0 为梁的有效高度，是受拉钢筋的合力作用点到截面受压混凝土边缘的距离：$h_0=h-a_s$，a_s 为受拉钢筋的合力作用点至截面受拉区边缘的距离。

为便于计算 h_0，通常的做法是根据混凝土保护层最小厚度及上述梁中纵向受力钢筋排列的构造规定，并假设梁中纵向受力钢筋的直径为 20mm，箍筋直径为 10mm，在一类环境情况下，h_0 可按表 6-6 的数值取用。

表 6-6　一类环境下梁、板的 h_0 值表（mm）

构件类型	混凝土强度等级		
	≤C25		C30 及以上
板	$h_0=h-25$		$h_0=h-20$
梁	一排钢筋	$h_0=h-45$	$h_0=h-40$
	两排钢筋	$h_0=h-70$	$h_0=h-65$

特别提示

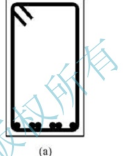
二a类环境类别下的梁板，保护层厚度 c 比一类环境增加了5mm，故其 h_0 按表6-6再减5mm即可。

多排布筋减少了梁截面的有效高度，使梁的承载力降低。同时钢筋多排布置导致混凝土浇筑密实困难。为方便施工，可采用同类型、同直径2根或3根钢筋并在一起配置，形成并筋，如图6.22所示。直径28mm及以下的钢筋并筋数量不宜超过3根；直径为32mm的钢筋宜为2根；直径36mm及以上的钢筋不应采用并筋。

2）弯起钢筋

弯起钢筋由纵向钢筋在支座附近弯起形成，如图6.20中所示的②、③号钢筋。它的作用分三段：跨中水平段承受正弯矩产生的拉力；斜弯段承受剪力；弯起后的水平段可承受压力，也可承受支座处负弯矩产生的拉力。

弯起钢筋的弯起角度：当梁高 $h \leqslant 800$mm时，采用45°；当梁高 $h > 800$mm时，采用60°。位于梁底层的角部钢筋不应弯起，顶层钢筋中的角部钢筋不应下弯。



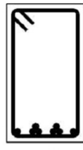


图6.22 梁中钢筋的并筋形式

(a)2根并筋；(b)3根并筋

弯起钢筋的末端应留有直线段，其长度在受拉区不应小于 $20d$，在受压区不应小于 $10d$，d 为弯起钢筋直径。对于光面钢筋，在其末端还应设置弯钩，如图6.23所示。

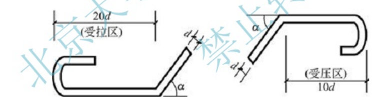


图6.23 弯起钢筋端部构造

弯起钢筋可单独设置在支座两侧，作为受剪钢筋，这种弯起钢筋称为“鸭筋”，如图6.24(a)所示，但锚固不可靠的“浮筋”不允许设置，如图6.24(b)所示。

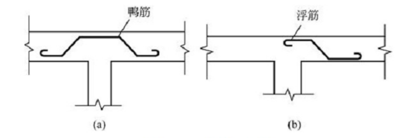


图6.24 鸭筋、浮筋

(a)鸭筋；(b)浮筋(不允许使用)

3）箍筋

箍筋主要用来承担剪力，在构造上能固定受力钢筋的位置和间距，并与其他钢筋形成钢筋骨架，如图6.20中所示的④号钢筋。梁中的箍筋应按计算确定，除此之外，还应满足以下构造要求。

(1) 构造箍筋：若按计算不需要配箍筋时，当截面高度 $h>300$mm 时，应沿梁全长设置箍筋；当 $h=150\sim300$mm 时，可仅在构件端部各1/4跨度范围内设置箍筋；但当在构件中部1/2跨度范围内有集中荷载作用时，则应沿梁全长设置箍筋；当 $h<150$mm 时，可不设箍筋。

(2) 直径：箍筋的最小直径不应小于表6-7的规定。

(3) 间距：梁的箍筋从支座边缘50mm处(图6.25)开始设置。梁中箍筋间距 s 除应符合计算要求外，最大间距 s_{max} 宜符合表6-8的规定。

表6-7　箍筋的最小直径（mm）

梁高 h	最小直径
$h\leqslant800$	6
$h>800$	8
配有受压钢筋的梁	$\geqslant d/4$（d 为受压钢筋中最大直径）

表6-8　梁中箍筋的最大间距 s_{max}(mm)

梁高 h	$V>0.7f_tbh_0$	$V\leqslant0.7f_tbh_0$
$150<h\leqslant300$	150	200
$300<h\leqslant500$	200	300
$500<h\leqslant800$	250	350
$h>800$	300	400

当梁中配有按计算需要的纵向受压钢筋时，箍筋的间距不应大于15d(d 为纵向受压钢筋的最小直径)，同时不应大于400mm；当一层内的纵向受压钢筋多于5根且直径大于18mm时，箍筋的间距不应大于10d；当梁的宽度大于400mm且一层内的纵向受压钢筋多于3根时，或当梁的宽度不大于400mm但一层内的纵向受压钢筋多于4根时，应设置复合箍筋。

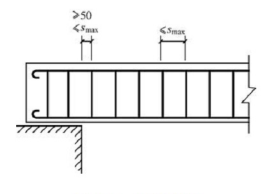


图6.25　箍筋的间距

(4) 形式：箍筋的形式有开口和封闭两种[图 6.26(a)、(b)]。开口式只用于无振动荷载或开口处无受力钢筋的现浇 T 形梁的跨中部分。除上述情况外，箍筋应做成封闭式。

(5) 肢数：一个箍筋垂直部分的根数称为肢数。常用的有双肢箍[图 6.26(a)、(b)]、四肢箍[图 6.26(d)] 和单肢箍[图 6.26(c)]等几种形式。当梁宽小于 350mm 时，通常用双肢箍；梁宽为 350mm 及以上或纵向受拉钢筋在一排的根数多于 5 根时，应采用四肢箍；当梁配有受压钢筋时，应使受压钢筋至少每隔一根处于箍筋的转角处；只有当梁宽小于 150mm 或作为腰筋的拉结筋时，才允许使用单肢箍。

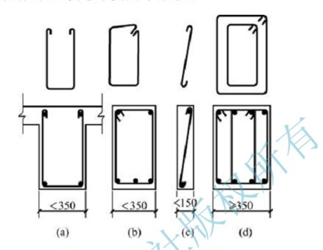


图 6.26　箍筋的形式和肢数

(a)开口式双肢箍；(b)封闭式双肢箍；(c)单肢箍；(d)四肢箍

4) 架立钢筋

为了将受力钢筋和箍筋连接成整体骨架，在施工中应保持正确的位置，在梁的上部平行于纵向受力钢筋的方向，一般应设置架立钢筋，如图 6.20 中所示的①号钢筋。

架立钢筋的直径：当梁的跨度小于 4m 时，不宜小于 8mm；跨度为 4～6m 时，不宜小于 10mm；跨度大于 6m 时，不宜小于 12mm。

架立钢筋与受力钢筋的搭接长度：当架立钢筋直径 $d \geqslant$12mm 时，为 150mm；当 $d<$12mm 时，为 100mm；当考虑架立筋受力时，则为 l_l。

5) 梁上部纵向构造钢筋

如果简支梁支座端上面有砖墙压住，阻止了梁端自由转动；或者梁端与另一梁或柱整体现浇，而未按固定端支座计算内力时，梁端将产生一定的负弯矩，这时需要设置构造钢筋(图 6.27)。

构造钢筋不应少于 2 根，其截面面积不少于跨中下部纵向受力钢筋面积的 1/4；由支座伸向跨内的长度不应小于 $0.2l_n$，l_n为梁净跨；构造钢筋伸入支座的锚固长度为 l_a。

构造钢筋可以利用架立钢筋[图 6.27(a)]，这时架立筋不宜少于 2Φ12；也可以采用另加的直钢筋[图 6.27(b)]。

6) 梁侧纵向构造钢筋及拉筋

当梁的腹板高度 $h_w \geqslant$450mm 时，为保证受力钢筋与箍筋构成的整体骨架的稳定，防止梁侧面中部产生竖向收缩裂缝，应在梁的两个侧面沿高度配置纵向构造钢筋。纵向构造钢筋间距 $a \leqslant$200mm，并用拉筋联系，建议拉筋紧靠纵筋并勾住箍筋，如图 6.28 所示。

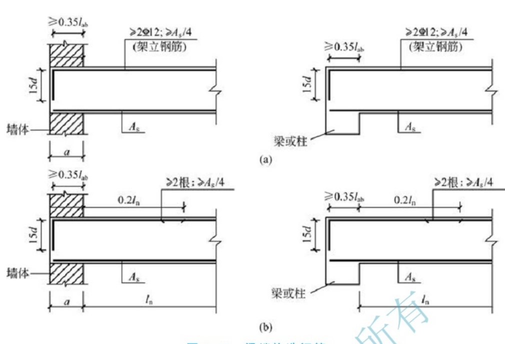


图 6.27　梁端构造钢筋

(a)架立钢筋充当构造钢筋；(b)另设直钢筋作为构造钢筋

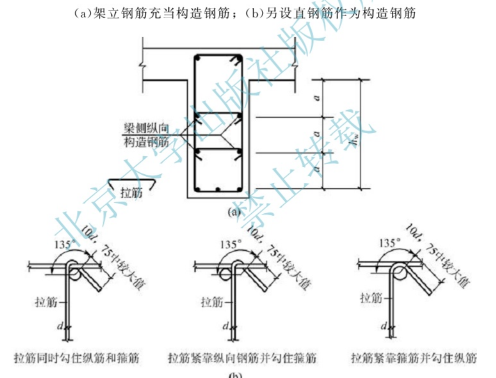


图 6.28　梁侧纵向构造钢筋和拉筋

特别提示

梁的腹板高度 h_w 的计算公式：

(1) 矩形截面取梁的有效高度 $h_w=h_0$；

(2) T 形截面取有效高度减去翼缘高度 $h_w=h_0-h_f'$；

(3) I 形截面取腹板净高 $h_w=h-h_f-h_f'$。

应用案例 6－2

一些高度较大的钢筋混凝土梁由于梁侧纵向构造钢筋(俗称腰筋)配置过稀，在使用期间甚至在使用以前往往在梁的腹部发生竖向等间距裂缝。这种裂缝多发生在构件中部，中间宽、两头细，至梁的上下缘附近逐渐消失，如图 6.29 所示。

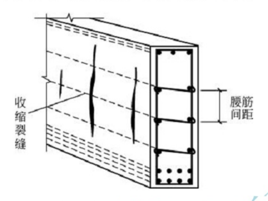


图 6.29　梁侧纵向构造钢筋不足产生的后果

【案例点评】

这种裂缝是由于混凝土收缩所致。两端固定在混凝土柱上的大梁，在凝结过程中因体积收缩而使梁在沿长度方向受拉。因梁的上下缘配有较多纵向受力钢筋，该拉力由纵向受力钢筋承受，混凝土开裂得很细，肉眼难以观察到；而大梁的中腹部，当腰筋配置过少、过稀时，不足以帮助混凝土承受这部分拉力，就会产生沿梁长均匀分布的竖向裂缝。

7）附加横向钢筋

附加横向钢筋设置在梁中有集中力(次梁)作用的位置两侧(图 6.30)，数量由计算确定。附加横向钢筋包括附加箍筋和吊筋，宜优先选用箍筋，也可采用吊筋加箍筋。

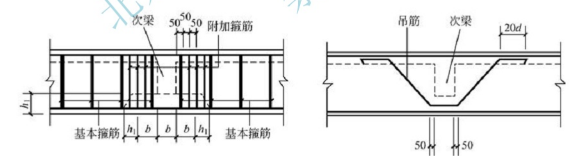


图 6.30　附加横向钢筋

6.2.3　板的构造规定

1. 截面形式与尺寸

钢筋混凝土板的常用截面有矩形、槽形和空心等形式，如图 6.31 所示。板的厚度 h 与其跨度 l 和所受荷载大小有关，一般宜满足跨厚比要求，钢筋混凝土单向板 $\frac{h}{l}\geqslant\frac{1}{30}$；双

向板$\frac{h}{l}\geqslant\frac{1}{40}$；无梁支承的有柱帽板$\frac{h}{l}\geqslant\frac{1}{35}$；无梁支承的无柱帽板$\frac{h}{l}\geqslant\frac{1}{30}$。当板的荷载、跨度较大时，宜适当减少。

现浇钢筋混凝土板的厚度不应小于附录D表D7中规定的数值。

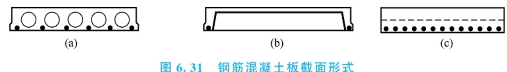
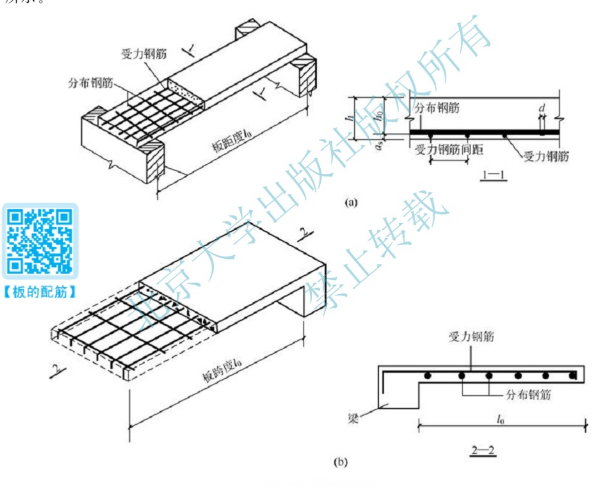


图 6.31 钢筋混凝土板截面形式

(a)空心板；(b)槽形板；(c)矩形板

2. 板的受力钢筋

板中受力钢筋指承受弯矩作用下产生的拉力的钢筋，沿板跨度方向放置，如图6.32所示。



【板的配筋】

图 6.32 板配筋图

(a)简支板；(b)悬臂板

特别提示

悬臂板由于受负弯矩作用，截面上部纤维受拉。受力钢筋应放置在板受拉一侧，即板上部，施工中应尤其注意，以免放反，造成事故。

（1）直径：板中受力钢筋直径通常采用6mm、8mm、10mm、12mm。

（2）间距：为了使板受力均匀和混凝土浇筑密实，板中受力钢筋的间距不应小于70mm；当板厚$h \leqslant 150$mm时，不宜大于200mm；当板厚$h > 150$mm时，不宜大于$1.5h$，且不宜大于250mm。

（3）锚固长度：简支板或连续板下部纵向受力钢筋伸入支座的锚固长度不应小于$5d$，且宜伸至支座中心线。当连续板内温度、收缩应力较大时，伸入支座的长度宜适当增加。

3. 板的分布钢筋

分布钢筋的作用是更好地分散板面荷载到受力钢筋上，固定受力钢筋的位置，防止由于混凝土收缩及温度变化在垂直板跨方向产生的拉应力。分布钢筋应放置在板受力钢筋的内侧，如图6.32所示。

分布钢筋的数量：板的单位长度上分布钢筋的截面面积不宜小于板的单位宽度上受力钢筋截面面积的15%，且不宜小于该方向板截面面积的0.15%。同时，分布钢筋的间距不宜大于250mm，直径不宜小于6mm。

4. 附加构造钢筋

（1）嵌固在承重砌体墙内的现浇板，由于砖墙的约束作用，板在墙边将产生一定的负弯矩，使沿墙周边的板面上方产生裂缝。因此，对嵌固在承重砖墙内的现浇板，在板边上部应配置垂直于板边的附加构造钢筋(图6.33)，其直径不宜小于8mm，间距不宜大于200mm，且单位宽度内的配筋面积不宜小于跨中相应方向板底钢筋截面面积的1/3。构造钢筋伸入板内的长度为$l_0/7$。其中l_0对单向板按受力方向考虑；双向板按短边考虑。

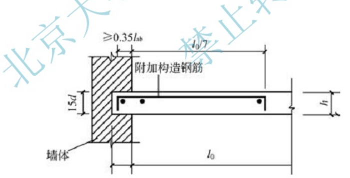


图6.33　嵌固在砌体墙内的板上部构造钢筋

（2）与混凝土梁、墙整体浇筑但按非受力边设计的现浇板，板边上部应配置垂直于板边的附加构造钢筋(图6.34)，其直径不宜小于8mm，间距不宜大于200mm，且单位宽度内的配筋面积不宜小于受力方向板底钢筋截面面积的1/3，并按受拉钢筋锚固在梁、柱、墙内。构造钢筋伸入板内的长度为$l_0/4$。

（3）在柱角或墙阳角处的楼板凹角部位，钢筋伸入板内的长度应从柱边或墙边算起。

5. 板在端部支座的锚固构造

板在端部支座的锚固构造如图6.34所示。

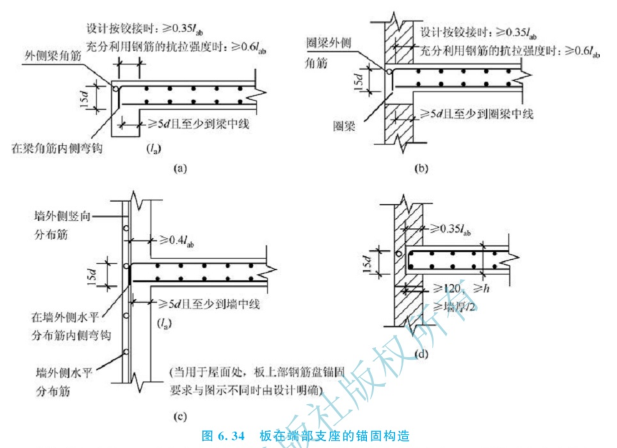


图 6.34　板在端部支座的锚固构造

(a)端部支座为梁；(b)端部支座为砌体墙的圈梁；(c)端部支座为剪力墙；(d)端部支座为砌体墙

注：括号内的锚固长度 l_a 用于梁板式转换层的板。

6.3　钢筋混凝土梁承载力计算（选学）

钢筋混凝土梁属于典型的受弯构件，在荷载作用下产生内力与变形两大效应。其中，内力为弯矩和剪力；变形为挠度和裂缝宽度。为了保证其安全性，需进行承载能力极限状态计算，包括正截面受弯承载力计算和斜截面受剪承载力计算；为了保证其适用性，需进行正常使用极限状态验算，包括挠度和裂缝宽度验算。

6.3.1　梁的正截面受弯承载力计算

钢筋混凝土梁的计算理论是建立在试验基础上的，通过试验可以了解钢筋混凝土梁的受力及破坏过程，确定梁在破坏时的截面应力分布，以便建立正截面受弯承载力计算公式。

1. 梁正截面破坏工程试验

根据工程试验，钢筋混凝土梁的正截面破坏形态主要与纵向受拉钢筋的配筋多少(配筋率)有关，随着配筋率的不同，梁的正截面破坏特征也在发生本质的变化。配筋率是指纵向钢筋的截面面积 A_s 与构件截面的有效面积 bh_0 的比值，用 ρ 表示，即 $\rho=\frac{A_s}{bh_0}$；同时

根据纵向受力钢筋的配筋率将梁分为适筋梁、超筋梁和少筋梁。下面将简述梁的三种破坏形态。

1）适筋梁(拉压破坏)


【适筋梁受弯试验】

纵向受力钢筋的配筋率合适的梁称为适筋梁(图6.35)。其破坏特征是：破坏开始时，受拉区的钢筋应力先达到屈服强度，之后钢筋应力进入屈服台阶，梁的挠度、裂缝随之增大，最终因受压区的混凝土达到其极限压应变被压碎而破坏。在这一阶段，梁的承载力基本保持不变而变形可以很大，在完全破坏以前具有很好的变形能力，破坏预兆明显，人们把这种破坏称为“延性破坏”。

受弯构件的正截面承载力计算的基本公式就是根据适筋梁破坏时的平衡条件建立的。

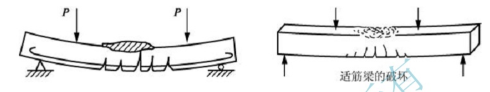


图6.35 钢筋混凝土适筋梁的破坏形态

2）超筋梁(受压破坏)

纵向受力钢筋的配筋率过大的梁称为超筋梁(图6.36)。由于其纵向受力钢筋过多，在钢筋没有达到屈服前，受压区混凝土就被压坏，表现为裂缝开展不宽、延伸不高，是没有明显预兆的混凝土受压脆性破坏的特征。


【超筋梁受弯试验】

超筋梁虽配置过多的受拉钢筋，但破坏取决于混凝土的压碎情况，且钢筋受拉强度未得到充分发挥，破坏又没有明显的预兆，因此，在工程中应避免采用。

在适筋梁和超筋梁的破坏之间存在一种“界限”破坏，其破坏特征是受拉纵筋屈服的同时，受压区混凝土被压碎，此时的配筋率称为最大配筋率 ρ_{max}，见表6-9。



图6.36 钢筋混凝土超筋梁的破坏形态

表6-9 受弯构件的截面最大配筋率 ρ_{max}(%)

钢筋等级	混凝土强度等级			
	C20	C25	C30	C35
HPB300	2.048	2.539	3.051	3.563
HRB335	1.76	2.182	2.622	3.062
HRB400 HRBF400 RRB400	1.381	1.712	2.058	2.403
HRB500 HRBF500	1.064	1.319	1.585	1.850


【少筋梁受弯试验】

3） 少筋梁(瞬时受拉破坏)

纵向受力钢筋的配筋率很小时称为少筋梁(图 6.37)。当梁配筋较少时，受拉纵筋有可能在受压区混凝土开裂的瞬间就进入强化阶段甚至被拉断，其破坏与素混凝土梁类似，属于脆性破坏。少筋梁的这种受拉脆性破坏比超筋梁受压脆性破坏更为突然，不安全，而且也不经济，因此在建筑结构设计中不允许采用。

在适筋和少筋破坏之间也存在一种“界限”破坏。其屈服弯矩与开裂弯矩相等，此时的配筋率称为最小配筋率 ρ_{min}，钢筋混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋率见附录 D 表 D8。

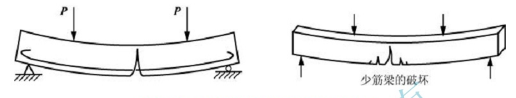


图 6.37　钢筋混凝土少筋梁的破坏形态

2. 单筋矩形截面梁正截面承载力计算

梁在弯矩作用下，一侧受拉，另一侧受压；受拉区拉力由纵筋承担，受压区压力由混凝土承担或由混凝土和纵筋共同承担。当只在受拉区配置受拉纵筋时，其截面被称为单筋截面，如图 6.38 所示；当在受拉区和受压区均配置纵筋时，其截面被称为双筋截面。下面将主要介绍单筋矩形截面适筋梁正截面承载力计算的基本公式、适用条件及应用。

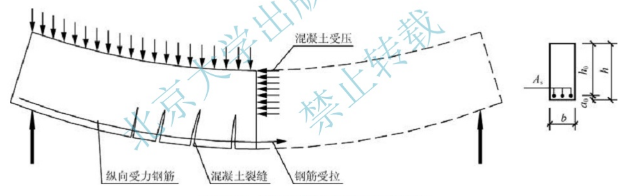


图 6.38　钢筋混凝土梁截面受力简图

1） 基本公式

如图 6.39 所示，单筋矩形截面适筋梁在弯矩 M 作用下，其下部受拉，拉力由受拉纵筋承担；上部受压，压力由混凝土承担。

在截面即将破坏时其处于平衡状态，根据力的平衡可知，所有各力在水平轴方向的合力为零，即得式(6-8)；根据所有各力对截面上任何一点的合力矩为零，当对受拉区纵向受力钢筋的合力作用点取矩，即得式(6-9a)；当对受压区混凝土压应力的合力作用点取矩时，即得式(6-9b)。

$$\sum F_x = 0 \text{，} \alpha_1 f_c bx = f_y A_s \tag{6-8}$$

$$\sum M_s = 0 \text{，} M \leqslant M_u = \alpha_1 f_c bx(h_0 - x/2) \tag{6-9a}$$

$$\sum M_c = 0 \text{，} M \leqslant M_u = f_y A_s (h_0 - x/2) \tag{6-9b}$$

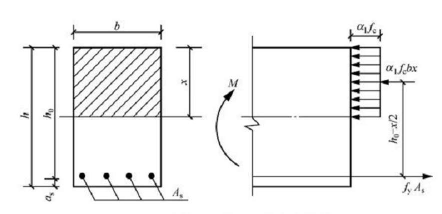


图 6.39 单筋矩形截面适筋梁计算简图

式中，b——矩形截面的宽度(mm)；

A_s——纵向受拉钢筋的截面面积(mm^2)；

M_u——梁截面极限受弯承载力设计值(kN·m)；

M——计算截面弯矩设计值(kN·m)；

α_1——受压混凝土的简化应力图形系数，取值见表 6-10；

f_c——混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm^2)；

f_y——钢筋抗拉强度设计值(N/mm^2)；

x——混凝土等效受压区高度(mm)；

h_0——截面有效高度(mm)。

表 6-10 受压混凝土的简化应力图形系数 α_1

混凝土强度等级	≤C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
α_1 值	1.0	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94

2）基本公式的适用条件

（1）为了防止梁发生少筋破坏，要求构件的配筋率 ρ 不得低于最小配筋率 ρ_{min}，即

$$\rho \geqslant \rho_{min} \tag{6-10}$$

（2）为了防止梁发生超筋破坏，要求构件的配筋率 ρ 不得高于最大配筋率 ρ_{max}，即

$$\rho \leqslant \rho_{max}；\text{或 } \xi \leqslant \xi_b；\text{或 } x \leqslant x_b = \xi_b h_0；\text{或 } \alpha_s \leqslant \alpha_{s.max} \tag{6-11}$$

3）相对受压区高度 ξ 及界限相对受压区高度 ξ_b

由式(6-8)等号左右两侧均除以 $f_y b h_0$ 可得

$$\frac{\alpha_1 f_c}{f_y} \cdot \frac{x}{h_0} = \frac{A_s}{bh_0} = \rho \tag{6-12a}$$

定义受压区高度 x 与截面有效高度 h_0 的比值为混凝土的相对受压区高度，用 ξ 表示，即 $\xi = x/h_0$。当配筋率为最大配筋率 ρ_{max} 时，相对受压区高度也达到最大值，用 ξ_b 表示，上式可表达为

$$\rho_{max} = \frac{A_{smax}}{bh_0} = \xi_b \frac{\alpha_1 f_c}{f_y} \tag{6-12b}$$

定义 ξ_b 为界限相对受压区高度，指梁正截面界限破坏时截面相对受压区高度，具体取值见附录 D 表 D11。故防止梁发生超筋破坏的条件也可以用 $\xi \leqslant \xi_b$ 或 $x \leqslant x_b = \xi_b h_0$ 来表示。

4）截面的抵抗矩系数 α_s 及内力臂系数 γ_s

把 $x=\xi h_0$ 代入式(6-9a)中，可得

$$M_u=\alpha_1 f_c bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)=\alpha_1 f_c b\xi h_0\left(h_0-\frac{\xi h_0}{2}\right)=\alpha_1 f_c bh_0^2\xi(1-0.5\xi)$$

令 $\alpha_s=\xi(1-0.5\xi)$，称 α_s 为截面的抵抗矩系数；此时，$\xi=1-\sqrt{1-2\alpha_s}$。当 $\xi=\xi_b$ 时，$\alpha_s=\alpha_{s,max}$，见附录D表D11，所以防止梁发生超筋破坏的条件也可以写成：$\alpha_s\leqslant\alpha_{s,max}$。

把 $x=\xi h_0$ 代入式(6-9b)中，可得

$$M_u=A_s f_y\left(h_0-\frac{x}{2}\right)=A_s f_y h_0(1-0.5\xi)$$

令 $\gamma_s=1-0.5\xi$，称 γ_s 为内力臂系数，同时，$\gamma_s=0.5(1+\sqrt{1-2\alpha_s})$。

正截面承载力计算公式中涉及求解一元二次方程，所以实际工程中为方便计算通常采用查表法。相对受压区高度 ξ、截面的抵抗矩系数 α_s 及内力臂系数 γ_s 的相互换算关系也可查附录D表D12。

5）应用

单筋矩形截面梁正截面承载力计算主要包括配置梁的纵向受拉钢筋和截面校核两个方面。配置梁的纵向受拉钢筋最终要确定纵筋的直径、根数等，不但要符合计算公式还要符合梁中纵筋的构造要求；截面校核是指在已知纵筋等截面信息时校核其正截面承载力是否符合要求，即安全性问题。

（1）配置梁的纵向受拉钢筋。

已知：梁截面尺寸 $b\times h$；由荷载产生的弯矩设计值 M；混凝土强度等级；钢筋级别。求所需受拉钢筋截面面积 A_s。其配置受拉纵筋的计算步骤如下。

① 确定截面有效高度 $h_0=h-a_s$。

② 计算截面的抵抗矩系数 α_s，并进行超筋校核。

$$\alpha_s=\frac{M}{\alpha_1 f_c bh_0^2}\leqslant\alpha_{s,max} \qquad (6-13)$$

③ 求内力臂系数 γ_s 或相对受压区高度 ξ。

$$\gamma_s=0.5(1+\sqrt{1-2\alpha_s}) \qquad (6-14a)$$

或

$$\xi=1-\sqrt{1-2\alpha_s} \qquad (6-14b)$$

求 γ_s 或 ξ 时，可根据上式计算，也可查表附录D表D12进行计算。

④ 求钢筋面积 A_s。

$$A_s=\frac{M}{\gamma_s f_y h_0} \qquad (6-15a)$$

或

$$A_s=\xi bh_0\frac{\alpha_1 f_c}{f_y}=\frac{\alpha_1 f_c bx}{f_y} \qquad (6-15b)$$

⑤ 配置纵向受拉钢筋。

根据计算所需的钢筋面积 A_s 值，查表附录D表D9(钢筋计算截面面积表)，确定梁中纵向受力钢筋的直径和根数，同时应符合相应的构造要求。

⑥ 验算最小配筋率。

受拉纵筋的配筋率应符合最小配筋率要求，即 $\rho \geq \rho_{min}$，此时计算配筋率应取用梁高 h 而不是梁的有效高度 h_0，即 $\rho = A_s/bh$。

⑦ 画配筋草图。

上述计算步骤也可用框图(图 6.40)表示。

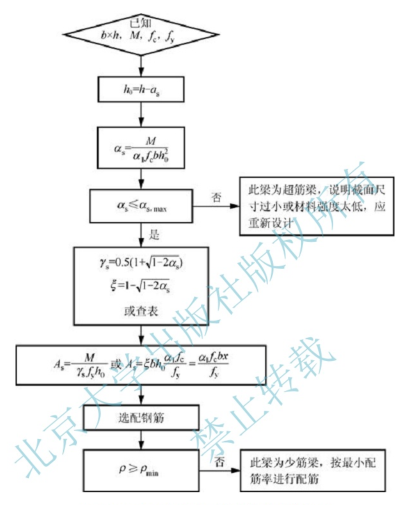


图 6.40 配置梁纵向受拉钢筋的计算框图

特别提示

钢筋配筋计算中，理论上实际配筋面积与计算钢筋面积的误差大约在±5%范围内。

在一定范围内，配筋率 ρ 大，说明截面钢筋数量多，构件的承载力会随之增大。但过多或过少的钢筋都会使构件发生脆性破坏，是设计应避免的。配筋率 ρ 在经济配筋率范围波动时，对总造价影响不大。板的经济配筋率为 0.3%～0.8%，单筋矩形梁的经济配筋率为 0.6%～1.5%，T 形截面梁的经济配筋率为 0.9%～1.8%。

应用案例 6-3

一钢筋混凝土矩形截面简支梁计算跨度 $l_0 = 6.0$m，截面尺寸 $b \times h = 250$mm×600mm，承受均布荷载标准值 $g_k = 15$kN/m(不含自重)，均布活荷载标准值 $q_k = 20$kN/m，环境类

别为一类，材料选择C30混凝土，HRB500钢筋。试确定该梁的纵向受拉钢筋(图6.41)。

解：(1) 确定计算参数。

C30级混凝土：查附录D表D3得 $f_c=14.3\text{N/mm}^2$，$f_t=1.43\text{N/mm}^2$

HRB500级钢筋：查附录D表D1得 $f_y=435\text{N/mm}^2$

查附录D表D11得 $\alpha_{s,\max}=0.366$

查表6-6得 $h_0=600-40=560(\text{mm})$

查表6-10得 $\alpha_1=1.0$

(2) 确定荷载标准值。

恒荷载标准值

$$g_k=15+0.25\times0.6\times25=18.75(\text{kN/m})$$

活荷载标准值

$$q_k=20\text{kN/m}$$

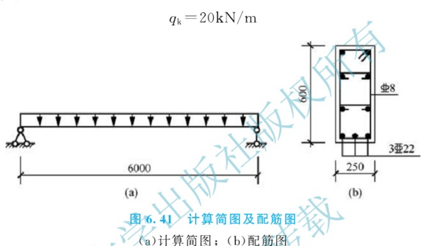


图6.41 计算简图及配筋图

(a)计算简图；(b)配筋图

(3) 确定梁跨中截面弯矩设计值。

恒荷载标准值引起的跨中弯矩标准值 $M_{gk}=\frac{1}{8}g_kl^2=\frac{1}{8}\times18.75\times6^2=84.375(\text{kN}\cdot\text{m})$

活荷载标准值引起的跨中弯矩标准值 $M_{qk}=\frac{1}{8}q_kl^2=\frac{1}{8}\times20\times6^2=90(\text{kN}\cdot\text{m})$

一般构件 $\gamma_0=1.0$

当永久荷载起控制作用时

$$M=\gamma_0(\gamma_GM_{gk}+\psi_c\gamma_QM_{qk})=1.0\times(1.35\times84.375+0.7\times1.4\times90)=202.11(\text{kN}\cdot\text{m})$$

当可变荷载起控制作用时

$$M=\gamma_0(\gamma_GM_{gk}+\gamma_QM_{qk})=1.0\times(1.2\times84.375+1.4\times90)=227.25(\text{kN}\cdot\text{m})$$

取较大值为截面控制弯矩设计值，即 $M=227.25\text{kN}\cdot\text{m}$

(4) 确定计算系数 α_s 和 γ_s。

$$\alpha_s=\frac{M}{\alpha_1f_cbh_0^2}=\frac{227.25\times10^6}{1.0\times14.3\times250\times560^2}=0.203\leqslant\alpha_{s,\max}=0.366\quad(\text{梁不会超筋破坏})$$

$$\gamma_s=0.5(1+\sqrt{1-2\alpha_s})=0.5(1+\sqrt{1-2\times0.203})=0.885$$

(5) 确定钢筋面积 A_s。

$$A_s=\frac{M}{f_yh_0r_s}=\frac{227.25\times10^6}{435\times560\times0.885}=1054(\text{mm}^2)$$

查附录D表D9，选用3Φ22，$A_{s实}=1140\text{mm}^2$

钢筋净距：$s=\dfrac{250-2\times20-2\times8-3\times22}{2}=64(\text{mm})>25\text{mm}$，符合要求。

(6) 验算最小配筋率，查附录D表D8得

$$\rho_{\min}=\max\left(0.2\%,\ 0.45\frac{f_t}{f_y}\right)=\max\left(0.2\%,\ 0.45\times\frac{1.43}{435}\right)=0.2\%$$

$$\rho=\frac{A_s}{bh}\times100\%=\frac{1140}{250\times600}\times100\%=0.76\%>0.2\%$$

梁不会发生少筋破坏，满足要求。

(7) 绘制配筋简图，见图6.41(b)。

(2) 截面校核。

截面校核是指在已知材料强度(f_c，f_y，α_1)、截面尺寸($b\times h$)、钢筋截面面积A_s的条件下，计算梁的受弯承载力设计值M_u或验算构件是否安全的问题，其计算步骤可用图6.42表示。

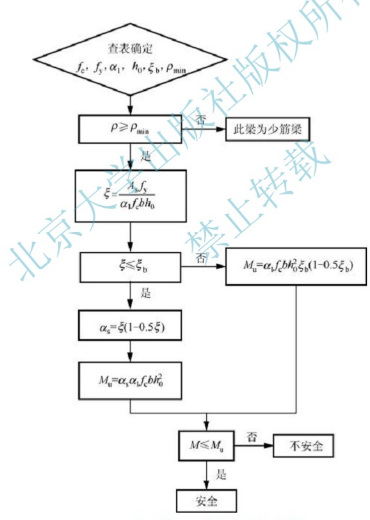


图6.42 梁正截面承载力校核的计算框图

应用案例6-4

某单筋矩形截面梁截面尺寸及配筋如图6.43所示，弯矩设计值$M=80\text{kN}\cdot\text{m}$，混凝土强度等级为C35，HRB400级钢筋，环境类别为一类。验算此梁正截面是否安全。

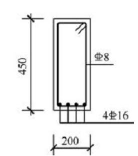


图 6.43 梁截面配筋图

解:(1) 确定计算参数。

C35 混凝土,查表得 $f_c=16.7\text{N/mm}^2$;$f_t=1.57\text{N/mm}^2$

HRB400 级钢筋,查表得 $f_y=360\text{N/mm}^2$;

4Φ16 的钢筋截面面积,查表得 $A_s=804\text{mm}^2$;

查表得 $\xi_b=0.550$;$h_0=450-40=410(\text{mm})$;$\alpha_1=1.0$。

(2) 验算最小配筋率。

$$\rho_{\min}=\max\left(0.2\%,\ 0.45\frac{f_t}{f_y}\right)=\max\left(0.2\%,\ 0.45\times\frac{1.57}{360}\right)=0.2\%,$$

满足要求。

$$\rho=\frac{A_s}{bh}\times100\%=\frac{804}{200\times450}\times100\%=0.893\%>0.2\%$$

(3) 确定截面受压区高度 ξ。

$$\xi=\frac{f_yA_s}{\alpha_1f_cbh_0}=\frac{360\times804}{1.0\times16.7\times200\times410}=0.211$$

(4) 确定截面抵抗矩系数 α_s。

$$\alpha_s=\xi(1-0.5\xi)=0.211\times(1-0.5\times0.211)=0.189$$

(5) 确定截面极限弯矩设计值 M_u。

$$\xi=0.189<\xi_b=0.550,\text{不超筋}$$

(6) $M_u=\alpha_s\alpha_1f_cbh_0{}^2=0.189\times1.0\times16.7\times200\times410^2=106.115\times10^6(\text{N}\cdot\text{mm})$

$=106.115\text{kN}\cdot\text{m}>M=80\text{kN}\cdot\text{m}$ (安全)

特别提示

如欲提高截面的抗弯能力 M_u,应优先考虑加大截面高度 h,其次是提高受拉钢筋的强度等级(f_y)或加大钢筋的数量(A_s)。而加大截面宽度 b 或提高混凝土的强度等级(f_c)效果不明显,一般不予采用。

知识链接

1. 双筋截面梁

双筋截面指的是在受压区配有受压钢筋,受拉区配有受拉钢筋的截面。压力由混凝土和受压钢筋共同承担,拉力由受拉钢筋承担。

受压钢筋可以提高构件截面的延性,并可减少构件在荷载作用下的变形,但用钢量较大,因此,一般情况下采用钢筋来承担压力是不经济的,但遇到下列情况之一时,可考虑采用双筋截面。

(1) 截面所承受的弯矩较大,且截面尺寸和材料品种等由于某种原因不能改变,此时,若采用单筋则会出现超筋现象。

(2) 同一截面在不同荷载组合下出现正、反弯矩。

(3) 构件的某些截面由于某种原因，在截面的受压区预先已经布置了一定数量的受力钢筋(如连续梁的某些支座截面)。

2. T形截面梁

矩形截面梁具有构造简单和施工方便等优点，但由于梁受拉区混凝土开裂退出工作，实际上受拉区混凝土的作用并未能得到充分发挥。如挖去部分受拉区混凝土，并将钢筋集中放置，就形成了由梁肋和位于受压区的翼缘所组成的T形截面。梁的截面由矩形变成T形，并不会影响其受弯承载力的降低，却能达到节省混凝土、减轻结构自重、降低造价的目的。图6.44中，T形截面的两侧伸出部分称为翼缘，其宽度为b'_f，厚度为h'_f；中间部分称为肋或腹板。

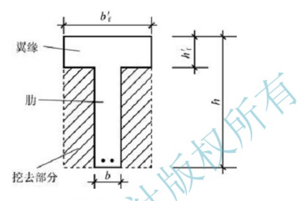


图6.44 T形截面

T形截面梁在工程中的应用非常广泛，如T形截面吊车梁、箱形截面桥梁、大型屋面板、空心板，如图6.45所示。

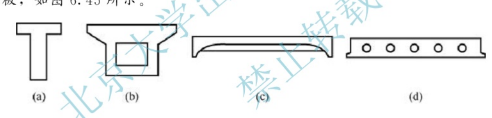


图6.45 T形截面独立梁

在现浇整体式肋梁楼盖中，梁和板是在一起整浇的，也形成T形截面梁，如图6.46所示。其跨中截面往往承受弯矩，下部受拉翼缘受压，可按T形截面计算。支座截面往往承受负弯矩，翼缘受拉开裂。此时不再考虑混凝土承担拉力，因此对支座截面应按肋宽为b的矩形截面计算，形状类似于倒T形截面梁。

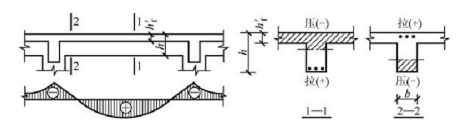


图6.46 连续梁跨中与支座截面

1) T形截面的分类及判别

(1) T形截面的分类。T形截面受弯构件，按受压区的高度不同，可分为下述两种类型。

第一类 T 形截面：中和轴在翼缘内，即 $x \leqslant h_f'$[图 6.47(a)]。

第二类 T 形截面：中和轴在梁肋部，即 $x > h_f'$[图 6.47(b)]。

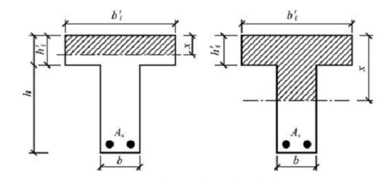


图 6.47　各类 T 形截面中和轴的位置

(2) T 形截面的判别。第一、二类 T 形截面的判别是以 $x = h_f'$时的界限状态对应的平衡状态作为依据的，如图 6.48 所示。

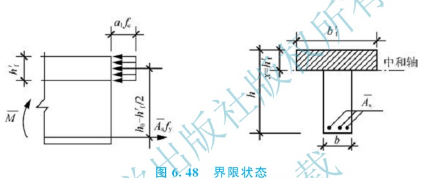


图 6.48　界限状态

判别条件分两种情况。

① 截面设计时：当 $M \leqslant \alpha_1 f_c b_f' h_f' \left(h_0 - \frac{h_f'}{2}\right)$时，为第一类 T 形截面；当 $M > \alpha_1 f_c b_f' h_f' \left(h_0 - \frac{h_f'}{2}\right)$时，为第二类 T 形截面。

② 截面校核时：当 $A_s f_y \leqslant \alpha_1 f_c b_f' h_f'$时，为第一类 T 形截面；当 $A_s f_y > \alpha_1 f_c b_f' h_f'$时，为第二类 T 形截面。

2) 第一类 T 形截面的计算

由于第一类 T 形截面梁的中性轴在翼缘内，在计算截面的正截面承载力时，不考虑受拉区混凝土参加受力，因此，第一类 T 形截面相当于宽度 $b = b_f'$的矩形截面，即用 b_f'代替 b 按矩形截面的公式计算即可，换句话说：就是仍用式(6-8)、式(6-9a)、式(6-9b)计算，只需将公式中的 b 换成 b_f'，第一类 T 形截面在实际工程中应用较多。

6.3.2　斜截面受剪承载力计算

一般而言，梁在荷载作用下不仅会引起弯矩 $\boldsymbol{M}$，同时还产生剪力 $\boldsymbol{V}$。试验研究和工程实践表明，在钢筋混凝土梁某些区段常常产生斜裂缝，并可能沿斜截面发生破坏。斜截面破坏往往带有脆性破坏的性质，缺乏明显的预兆，所以，钢筋混凝土梁除应进行正截面承载力计算外，还需对弯矩和剪力共同作用的区段进行斜截面承载力计算。

梁的斜截面承载力包括斜截面受剪承载力和斜截面受弯承载力。在实际工程中，斜截面受剪承载力通过计算配置腹筋来保证，而斜截面受弯承载力则通过构造措施来保证。

特别提示

腹筋包括弯起钢筋和箍筋；由于弯起钢筋施工较麻烦，现在已较少采用，实际工程中多用箍筋。

1. 梁斜截面破坏工程实验

影响梁的斜截面破坏形态有很多因素，其中最主要的两项是剪跨比的大小和配置箍筋的多少。

1）剪跨比的定义

对于承受集中荷载的梁：第一个集中荷载作用点到支座边缘之距 a（剪跨跨长）与截面的有效高度 h_0 之比称为剪跨比 λ，即 $\lambda=a/h_0$，如图 6.49 所示。

广义剪跨比 $\lambda=M/Vh_0$（如果以 λ 表示剪跨比，集中荷载作用下的梁某一截面的剪跨比等于该截面的弯矩值与截面的剪力值和有效高度乘积之比）。

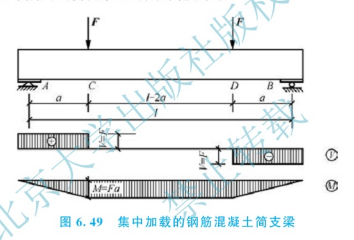


图 6.49　集中加载的钢筋混凝土简支梁

2）箍筋配箍率

箍筋配箍率是指箍筋截面面积与截面宽度和箍筋间距乘积的比值，计算公式为

$$\rho_{sv}=\frac{A_{sv}}{bs}=\frac{nA_{sv1}}{bs} \tag{6-16}$$

式中，A_{sv}——配置在同一截面（图 6.50）内箍筋各肢的全部截面面积（mm^2），$A_{sv}=nA_{sv1}$；

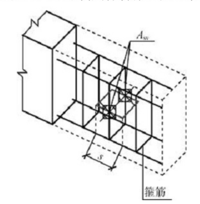


图 6.50　梁箍筋配筋示意图

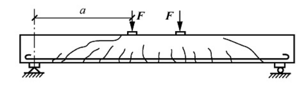




图 6.53　梁的斜拉破坏

梁腹筋随即屈服，箍筋对斜裂缝开展的限制已不起作用，导致斜裂缝迅速向梁上方受压区延伸，梁将沿斜裂缝裂成两部分而破坏。

因为斜拉破坏的承载力很低，并且一裂即坏，故属于脆性破坏。为了防止发生剪跨比较大时的斜拉破坏，箍筋的配置不应小于最小配箍率，即

$$\rho_{sv,min}=\left(\frac{A_{sv}}{bs}\right)_{min}=0.24\frac{f_t}{f_{yv}} \tag{6-17}$$

式中，f_t——混凝土的抗拉强度设计值（N/mm^2）；

f_{yv}——箍筋的抗拉强度设计值（N/mm^2）。

2. 基本公式（仅配箍筋）

对于矩形、T 形、I 形截面的一般受弯构件

$$V\leqslant V_{cs}=0.7f_tbh_0+f_{yv}\frac{A_{sv}}{s}h_0 \tag{6-18a}$$

对承受集中荷载作用为主的独立梁或对集中荷载作用下（包括作用有多种荷载，其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力的75%以上的情况）的独立梁

$$V\leqslant V_{cs}=\frac{1.75}{\lambda+1}f_tbh_0+f_{yv}\frac{A_{sv}}{s}h_0 \tag{6-18b}$$

式中，V——梁的剪力设计值（N/mm^2）；

λ——剪跨比（当 $\lambda<1.5$ 时，取 $\lambda=1.5$；当 $\lambda>3$ 时，取 $\lambda=3$）。

由式（6－18）可知，梁的斜截面承载力 V_{cs} 由两部分组成：$V_c=0.7f_tbh_0$ 或 $\frac{1.75}{\lambda+1}f_tbh_0$，表示混凝土能够承担的剪力设计值；$V_s=f_{yv}\frac{A_{sv}}{s}h_0$，表示箍筋能够承担的剪力设计值。



剪力设计值的计算截面

对于实际工程中的梁，截面尺寸可能发生变化（变截面梁），又如箍筋直径、面积也可能发生变化，所以在进行斜截面承载力计算时，应如何选取危险截面呢？

一般来讲，支座边缘处的截面、箍筋截面面积或间距改变处以及截面尺寸改变处的截面均为剪力设计值的计算截面。

3. 适用条件

1）防止斜压破坏（验算梁的最小截面尺寸）

对于矩形、T 形和 I 形截面的受弯构件，需符合下列条件。

当 $\frac{h_w}{b}\leqslant4$ 时（即一般梁）

$$V \leqslant 0.25\beta_c f_c b h_0 \tag{6-19}$$

当$\frac{h_w}{b} \geqslant 6$时(即薄腹梁)

$$V \leqslant 0.2\beta_c f_c b h_0 \tag{6-20}$$

当$4 < \frac{h_w}{b} < 6$时

$$V \leqslant 0.025\left(14 - \frac{h_w}{b}\right)\beta_c f_c b h_0 \tag{6-21}$$

式中，β_c——混凝土强度影响系数，当混凝土强度等级≤C50时，$\beta_c = 1.0$；当混凝强度等级为C80时，$\beta_c = 0.8$；具体取值参照表6-11。

表6-11　混凝土强度影响系数β_c

混凝土强度等级	≤C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
β_c	1.0	0.97	0.93	0.9	0.87	0.83	0.8

2）防止斜拉破坏(验算梁的最小配箍率)

$$\rho_{sv} \geqslant \rho_{sv,min} \tag{6-22}$$

4. 梁斜截面承载力的计算

梁斜截面承载力的计算主要包括配置梁的箍筋和截面校核两个方面。配置梁的箍筋最终要确定箍筋的直径、根数、间距等，其不但要符合计算公式、适用条件，还要符合梁中箍筋的构造要求；截面校核是指在已知箍筋等截面信息时校核其斜截面承载力是否符合要求，即安全性问题。

1）配置箍筋数量——计算题

已知：梁截面尺寸$b \times h$；由荷载产生的剪力设计值V；混凝土强度等级；箍筋级别。要求配置箍筋。配置箍筋的计算步骤如下。

(1) 验算截面尺寸，如果不满足式(6-19)，或式(6-20)，或式(6-21)，说明截面尺寸过小，应重新确定截面尺寸，或增大混凝土的强度等级。

(2) 是否需要按构造配置箍筋。当满足$V \leqslant V_c = 0.7 f_t b h_0$时，可按构造配置箍筋，即按箍筋最小配箍率$\rho_{sv,min}$配置箍筋，同时满足箍筋肢数、最小直径$d_{min}$及最大间距$s_{max}$的规定。

若不符合上述条件，则需要按计算配置箍筋。

(3) 按公式计算配置箍筋。

$$\frac{nA_{sv1}}{s} = \frac{A_{sv}}{s} \geqslant \frac{V - 0.7 f_t b h_0}{f_{yv} h_0} \tag{6-23a}$$

或

$$\frac{nA_{sv1}}{s} = \frac{A_{sv}}{s} \geqslant \frac{V - \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0}{f_{yv} h_0} \tag{6-23b}$$

(4) 根据构造要求，先确定箍筋肢数(n)及箍筋直径(d)，代入式(6-23a)或式(6-23b)求出箍筋间距s，同时满足箍筋最大间距要求。

(5) 验算最小配箍率：$\rho_{sv} \geqslant \rho_{sv,min}$。

应用案例 6－5

在图 6.54 中所示的钢筋混凝土梁，承受均布荷载，荷载设计值 $q=50\text{kN/m}$（包括梁自重在内），截面尺寸 $b\times h=250\text{mm}\times 500\text{mm}$，混凝土强度等级为 C30，纵筋为 HRB400 级钢筋，箍筋为 HPB300 级钢筋，$\gamma_0=1.0$，构件处于室内正常环境，计算梁的箍筋。

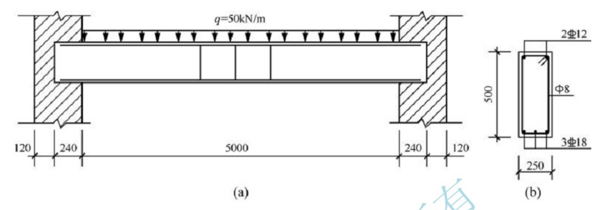


图 6.54 应用案例 6－5 图

(a)计算简图；(b)配筋图

解：(1) 确定计算参数。

C30 级混凝土，查表得 $f_c=14.3\text{N/mm}^2$，$f_t=1.43\text{N/mm}^2$

HPB300 级钢筋，查表得 $f_{yv}=270\text{N/mm}^2$

查表 6－8 得 $s_{max}=200\text{mm}$；查表 6－6 得 $a_s=40\text{mm}$，$h_0=500-40=460(\text{mm})$

(2) 确定剪力设计值。

$$V=\frac{1}{2}ql_n=\frac{1}{2}\times 50\times 5=125(\text{kN})$$

(3) 验算截面尺寸。

$$\frac{h_w}{b}=\frac{460}{250}=1.84<4$$

$0.25\beta_c f_c bh_0=0.25\times 1.0\times 14.3\times 250\times 460=411125(\text{N})>125000\text{N}$，截面尺寸满足要求。

(4) 验算是否需要按照计算配置箍筋。

$$0.7f_t bh_0=0.7\times 1.43\times 250\times 460=115115(\text{N})<125000\text{N}$$

(5) 计算箍筋。

需要按照计算配置箍筋

$$\frac{nA_{sv1}}{s}=\frac{V-0.7f_t bh_0}{f_{yv}h_0}=\frac{125000-115115}{270\times 460}=0.0796(\text{mm}^2/\text{mm})$$

按构造要求取箍筋肢数 $n=2$，直径 $d=8\text{mm}(A_{sv1}=50.3\text{mm}^2)$，则箍筋间距为 $s=\frac{2\times 50.3}{0.0796}=1263.8(\text{mm})$，而 $s_{max}=200\text{mm}$，则取箍筋为 ϕ8@200。

(6) 验算最小配箍率。

$$\rho_{sv}=\frac{nA_{sv1}}{bs}=\frac{2\times 50.3}{250\times 200}=0.2\%>\rho_{sv,min}=0.24\times\frac{f_t}{f_{yv}}=0.24\times\frac{1.43}{270}=0.13\%$$，满足要求。

2）截面校核

已知：梁截面尺寸 $b\times h$、箍筋、混凝土强度等级等，求斜截面抗剪承载力 V_u；或已知荷载产生的剪力设计值 V，问该梁斜截面承载力是否满足要求(即安全性的问题)。截面校核的计算步骤如下：①根据式(6-19)[或式(6-20)，或式(6-21)]，计算 V_1；②验算最小配箍率，如果满足 $\rho_{sv}\geqslant\rho_{sv,min}$，说明该梁不会发生斜拉破坏，否则说明该梁会发生斜拉破坏；③按式(6-18)计算 V_{cs}；④$V_u=\min(V_1, V_{cs})$；⑤若 $V\leqslant V_u$，说明该梁斜截面安全，否则不安全。

应用案例 6-6

已知某承受均布荷载的矩形截面钢筋混凝土简支梁，截面尺寸为 300mm×500mm，混凝土强度等级为 C30，受拉纵筋一排，箍筋配置 ⌀10@200(2)($A_{sv1}=78.5\text{mm}^2$)，结构安全等级为二级。试计算斜截面受剪承载力。

解：(1) 查表知：$f_c=14.3\text{N/mm}^2$，$f_t=1.43\text{N/mm}^2$，$f_{yv}=360\text{N/mm}^2$，$h_w=h_0=500-40=460(\text{mm})$。

$$\frac{h_w}{b}=\frac{460}{300}=1.533<4$$

$$0.25\beta_c f_c bh_0=0.25\times1.0\times14.3\times300\times460\times10^{-3}=493.35(\text{kN})$$

(2) $\rho_{sv}=\dfrac{nA_{sv1}}{bs}=\dfrac{2\times78.5}{300\times200}=0.262\%$

$$\rho_{sv,min}=0.24\frac{f_t}{f_{yv}}=0.24\times\frac{1.43}{360}=0.095\%$$

$\rho_{sv}>\rho_{sv,min}$(不会发生斜拉破坏)

(3) $V_{cs}=0.7f_t bh_0+f_{yv}h_0\dfrac{nA_{sv1}}{s}$

$$=(0.7\times1.43\times300\times460+360\times460\times\frac{157}{200})\times10^{-3}$$

$$=268.1(\text{kN})$$

(4) $V_u=\min(V, 0.25\beta_c f_c bh_0)=268.1(\text{kN})$

6.3.3 挠度及裂缝验算

1. 梁的挠度验算

对建筑结构中的屋盖、楼盖及楼梯等受弯构件，由于使用上的要求并保证人们的感觉在可接受程度之内，需要对其挠度进行控制。对于吊车梁或门机轨道梁等构件，变形过大时会妨碍吊车或门机的正常行驶，也需要进行变形控制验算。

$$f_{max}\leqslant[f] \tag{6-24}$$

式中，f_{max}——荷载效应标准组合下，考虑荷载长期作用的影响后受弯构件的最大挠度；

[f]——受弯构件的挠度限值，按附录 D 表 D13 查用。

特别提示

若求出的构件挠度大于附录 D 表 D13 规定的挠度限值，则应采取措施减小挠度。减小挠度的实质就是提高构件的抗弯刚度，最有效的措施就是增大构件的截面高度，其次是增加钢筋的截面面积，其他措施如提高混凝土强度等级，选用合理的截面形状等，效果都不显著。此外，采用预应力混凝土构件也是提高受弯构件刚度的有效措施。

2. 梁的裂缝验算

由于混凝土的抗拉强度很低，在荷载不大时，混凝土构件受拉区就已经开裂。引起裂缝的原因是多方面的，最主要的当然是由于荷载产生的内力所引起的裂缝，此外，由于基础的不均匀沉降，混凝土收缩和温度作用而产生的变形受到钢筋或其他构件约束时，以及因钢筋锈蚀时而体积膨胀，都会在混凝土中产生拉应力，当拉应力超过混凝土的抗拉强度时即开裂。由此看来，截面受有拉应力的钢筋混凝土构件在正常使用阶段出现裂缝是难免的，对于一般的工业与民用建筑来说，也是允许带有裂缝工作的。

在进行结构构件设计时，应根据使用要求选用不同的裂缝控制等级；裂缝控制等级划分为三级。

（1）一级：严格要求不出现裂缝的构件，按荷载效应的标准组合进行计算时，构件受拉区边缘的混凝土不应产生拉应力。

（2）二级：一般要求不出现裂缝的构件，即按荷载效应标准组合进行计算时，构件受拉区边缘混凝土的拉应力不应大于混凝土轴心抗拉强度标准值；而按荷载效应准永久组合进行计算时，构件受拉区边缘的混凝土不宜产生拉应力，当有可靠经验时可适当放松。

（3）三级：允许出现裂缝的构件，但荷载效应标准组合并考虑长期作用影响求得的最大裂缝宽度 ω_{max}，不应超过规范规定的最大裂缝宽度限值 ω_{lim}。ω_{lim} 为最大裂缝宽度的限值。

上述一、二级裂缝控制属于构件的抗裂能力控制，对于钢筋混凝土构件来说，混凝土在使用阶段一般都是带裂缝工作的，故按三级标准来控制裂缝宽度。

构件裂缝宽度过大不但影响美观，而且会给人以不安全感；在有腐蚀性的液体或气体的环境中，裂缝的发展可使构件中的钢筋过早并迅速腐蚀，甚至脆断，从而严重影响结构的安全性和耐久性。因此，对结构构件除必须进行承载力计算外，根据使用要求还需对某些构件进行变形和裂缝宽度的控制，即正常使用极限状态的验算。

$$\omega_{max} \leqslant [\omega_{lim}] \tag{6-25}$$

式中，ω_{max}——构件最大裂缝宽度(mm)；

$[\omega_{lim}]$——最大裂缝宽度限值(mm)，按附录 D 表 D14 查用。

特别提示

减小裂缝宽度采取的措施中优先选用变形钢筋，其次是选用直径较细的钢筋，最后考虑增加钢筋的用量，其他措施如改变截面形状和尺寸、提高混凝土强度等级等虽能减小裂缝宽度，但效果甚微，一般不宜采用。

6.4 钢筋混凝土板承载力计算 （选学）

1. 钢筋混凝土板的计算规则

混凝土板按下列原则进行计算：①两对边支承的板应按单向板计算。②四边支承的板应按下列规定计算：当长边与短边之比不大于2.0时，应按双向板计算；当长边与短边长度之比大于2.0，但小于3.0时，宜按双向板计算；当长边与短边长度之比不小于3.0时，宜按沿短边方向受力的单向板计算，并应沿长边方向布置构造钢筋。

2. 钢筋混凝土单向板承载力计算

钢筋混凝土单向板与钢筋混凝土梁一样同属于受弯构件，其设计过程与梁基本一致，由于板内剪力较小，通常能够满足抗剪要求，所以一般无须进行斜截面承载力计算，只需进行正截面受弯承载力计算即可。

钢筋混凝土板单向板的正截面受弯承载力计算与6.3.1节中介绍的钢筋混凝土单筋矩形截面梁的正截面受弯承载力计算方法一致。需要注意的是在计算中取1m板宽为计算单元，即$b=1000$mm。其他不再赘述。

应用案例 6-7

已知一单跨简支板，配筋如图6.55所示，计算跨度为$l=2.20$m，承受均布活荷载$q_k=6.0\text{kN/m}^2$，混凝土强度等级为C30，采用HRB400级钢筋，环境类别为一类。板厚取为80mm，求纵向受拉钢筋截面面积A_s。

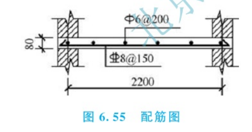


图6.55 配筋图

解：(1) 确定计算参数。

由环境类别为一类，C30级混凝土，查表得$f_c=14.3\text{N/mm}^2$，$f_t=1.43\text{N/mm}^2$

HRB400级钢筋，查表得$f_y=360\text{N/mm}^2$

查表得$\alpha_{s,\max}=0.384$；$h_0=80-20=60$(mm)；$\alpha_1=1.0$。

(2) 确定板的跨中截面弯矩设计值。

取板宽$b=1000$mm的板带为计算单元，板厚80mm，则板自重

$$g_k=25\times0.08=2.0(\text{kN/m})$$

$$M_{gk}=\frac{1}{8}g_k l^2=\frac{1}{8}\times2.0\times2.2^2=1.21(\text{kN}\cdot\text{m})$$

$$M_{qk}=\frac{1}{8}q_k l^2=\frac{1}{8}\times6.0\times2.2^2=3.63(\text{kN}\cdot\text{m})$$

一般构件$\gamma_0=1.0$。

永久荷载起控制作用

$$M=\gamma_0(\gamma_G M_{gk}+\psi_c\gamma_Q M_{qk})=1.0\times(1.35\times1.21+0.7\times1.4\times3.63)=5.19(\text{kN}\cdot\text{m})$$

可变荷载起控制作用

$$M=\gamma_0(\gamma_G M_{gk}+\gamma_Q M_{qk})=1.0\times(1.2\times1.21+1.4\times3.63)=6.534(kN\cdot m)$$

取较大值为截面控制弯矩设计值，即 $M=6.534kN\cdot m$。

(3) 确定截面计算系数 α_s 和 γ_s。

$$\alpha_s=\frac{M}{\alpha_1 f_c b h_0^2}=\frac{6.534\times10^6}{1.0\times14.3\times1000\times60^2}=0.127\leqslant\alpha_{s,\max}=0.384，满足要求。$$

$$\gamma_s=0.5(1+\sqrt{1-2\alpha_s})=0.5(1+\sqrt{1-2\times0.127})=0.932$$

(4) 确定板的钢筋面积 A_s。

$$A_s=\frac{M}{f_y h_0 r_s}=\frac{6.534\times10^6}{360\times60\times0.932}=324.6(mm^2)$$

(5) 选择钢筋。

查附录D表D10得：选用 ⌀8@150，$A_s=335mm^2$。

(6) 验算最小配筋。

$$\rho_{\min}=\max\left(0.2\%，0.45\frac{f_t}{f_y}\right)=\max\left(0.2\%，0.45\times\frac{1.43}{360}\right)=0.2\%$$

$$\rho=\frac{A_s}{bh}\times100\%=\frac{335}{1000\times80}\times100\%=0.42\%>0.2\%$$

(7) 绘制配筋图，如图6.55所示。

知识链接

双　向　板

双向板在两个方向的配筋都应按计算确定。考虑短跨方向的弯矩比长跨方向的大，因此应将短跨方向的跨中受拉钢筋放在长跨方向的外侧，以得到较大的截面有效高度。截面有效高度 h_0 通常分别取值如下：短跨方向 $h_0=h-20(mm)$，长跨方向 $h_0=h-30(mm)$。

双向板受力钢筋沿纵横两个方向设置，此时应将短向的钢筋设置在外层，长向的钢筋设置在内层。

6.5　预应力混凝土构件

6.5.1　预应力混凝土的基本概念

普通钢筋混凝土结构或构件，由于混凝土的抗拉强度及极限拉应变都很低(其抗拉强度只有抗压强度的1/18～1/10，极限拉应变为 0.1×10^{-3}～0.15×10^{-3})，而钢筋达到屈服强度时的应变却要大得多(为 0.5×10^{-3}～1.5×10^{-3})，在荷载作用下，混凝土构件一般均带裂缝工作。对使用上不允许开裂的构件，相应的受拉钢筋的应力只能达到 $20\sim30N/mm^2$，

不能充分利用其强度；而对于使用上允许开裂的构件，当受拉钢筋应力达到 250N/mm^2 时，裂缝宽度已达 0.2～0.3mm，构件耐久性有所降低。

由于混凝土的抗拉性能很差，使钢筋混凝土存在两个无法解决的问题：一是在使用荷载作用下，钢筋混凝土受拉、受弯等构件通常是带裂缝工作的，裂缝的存在，不仅使构件刚度大为降低，而且不能应用于不允许开裂的结构中；二是从保证结构耐久性出发，必须限制裂缝宽度。为了要满足变形和裂缝控制的要求，则需增大构件的截面尺寸和用钢量，这将导致自重过大，使钢筋混凝土结构用于大跨度或承受动力荷载的结构成为不可能或很不经济。从理论上讲，提高材料强度可以提高构件的承载力，从而达到节省材料和减轻构件自重的目的。但在普通钢筋混凝土构件中，提高钢筋强度却难以收到预期的效果。这是因为，对配置高强度钢筋的钢筋混凝土构件而言，承载力可能已不是控制条件，起控制作用的因素可能是裂缝宽度或构件的挠度。当钢筋应力达到 500～1000N/mm^2 时，裂缝宽度将很大，无法满足使用要求。因此，钢筋混凝土结构中采用高强度钢筋是不能充分发挥其作用的。而提高混凝土强度等级对提高构件的抗裂性能和控制裂缝宽度的作用也极其有限。

为了避免钢筋混凝土结构的裂缝过早出现，充分利用高强度钢筋及高强度混凝土，可以设法在结构构件承受外荷载作用之前，预先对受拉区混凝土施加压力，以此产生的预压应力来减小或抵消外荷载引起的混凝土拉应力，这种在混凝土构件受荷载以前预先对构件使用时的混凝土受拉区施加压应力的结构称为“预应力混凝土结构”。

关于预应力的基本概念人们早已应用于生活实践中了，如图 6.56 所示。如木桶在制作过程中，预先用竹箍把木板箍紧，目的是使木板间产生环向预压力，装水或装汤后，由水产生环向拉力，在拉应力小于预压应力时，水桶就不会漏水。

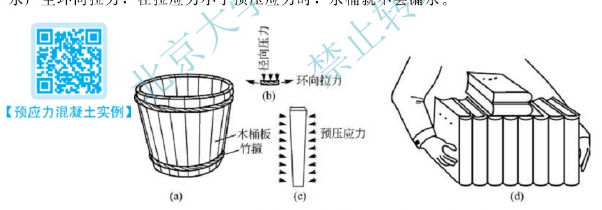


图 6.56　日常生活中的预应力应用案例

6.5.2　施加预应力的方法

根据张拉钢筋与浇筑混凝土的先后关系，施加预应力的方法可分为先张法和后张法两类。

1. 先张法

先张拉预应力钢筋，然后浇筑混凝土的施工方法称为先张法，先张法的张拉台座设备如图 6.57 所示。

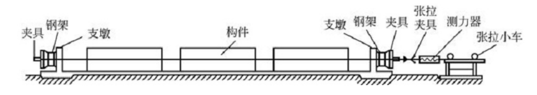


图 6.57　先张法的张拉台座设备

先张法的主要工艺过程是(图 6.58)：穿钢筋→张拉钢筋→浇筑混凝土并进行养护→切断钢筋。预应力钢筋回缩时挤压混凝土，从而使构件产生预压应力。由于预应力的传递主要靠钢筋和混凝土间的黏结力，因此，必须待混凝土强度达到规定值(达到强度设计值的 75%以上)时，方可切断预应力钢筋。

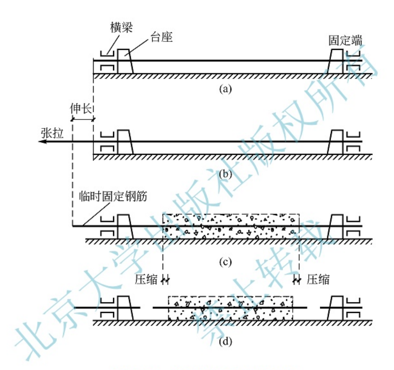


图 6.58　先张法工艺过程示意

(a)钢筋就位；(b)张拉钢筋；(c)临时固定钢筋，
浇筑混凝土并养护；(d)切断钢筋，钢筋回缩，混凝土受预压

先张法的优点主要是生产工艺简单、工序少、效率高、质量易于保证，同时由于省去了锚具和减少了预埋件，构件成本较低。先张法主要适用于工厂化大量生产，尤其适宜用于长线法生产中小型构件。

2. 后张法

先浇筑混凝土，待混凝土硬化后，在构件上直接张拉预应力钢筋，这种施工方法称为后张法。后张法的张拉台座设备如图 6.59 所示。

后张法的主要工艺过程是：浇筑混凝土构件(在构件中预留孔道)并进行养护→穿预应力钢筋→张拉钢筋并用锚具锚固→往孔道内压力灌浆。钢筋的回弹力通过锚具作用到构件，从而使混凝土产生预压应力(图 6.60)。后张法的预压应力主要通过工作锚传递。张拉钢筋时，混凝土的强度必须达到设计值的 75%以上。

后张法的优点是预应力钢筋直接在构件上张拉，不需要张拉台座，所以后张法构件既可以在预制厂生产，也可在施工现场生产。大型构件在现场生产可以避免长途搬运，故我国大型预应力混凝土构件主要采用后张法施工。

后张法的主要缺点是生产周期较长；需要利用工作锚锚固钢筋，钢材消耗较多，成本较高；工序多，操作较复杂，造价一般高于先张法。

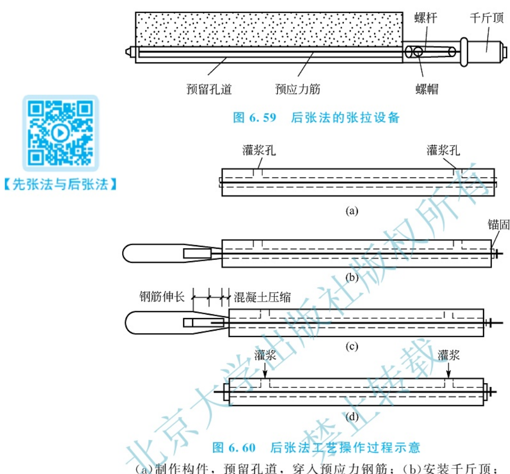


图 6.59　后张法的张拉设备

图 6.60　后张法工艺操作过程示意

(a)制作构件，预留孔道，穿入预应力钢筋；(b)安装千斤顶；

(c)张拉钢筋；(d)锚住钢筋，拆除千斤顶并孔道压力灌浆

特别提示

在后张法中，锚具是建立预应力值和保证结构安全的关键，要求锚具尺寸准确、强度高、变形小，还应做到取材容易、加工简单、成本低、使用方便等。

6.5.3 预应力混凝土的特点

与钢筋混凝土相比，预应力混凝土具有以下特点。

（1）构件的抗裂性能较好。

（2）构件的刚度较大。由于预应力混凝土能延迟裂缝的出现和开展，并且受弯构件要产生反拱，因而可以减小受弯构件在荷载作用下的挠度。

（3）构件的耐久性较好。由于预应力混凝土能使构件在使用过程中不出现裂缝或减小裂缝宽度，因而可以减少大气或侵蚀性介质对钢筋的侵蚀，从而延长构件的使用期限。

（4）由于预应力结构必须采用高强度材料，因此可以减小构件截面尺寸，节省材料，减轻自重，既可以达到经济的目的，又可以扩大钢筋混凝土结构的使用范围，如可以用于大跨度结构，以代替某些钢结构。

（5）工序较多，施工较复杂，且需要张拉设备和锚具等设施。

由于预应力混凝土具有以上特点，因而在工程结构中得到了广泛的应用。在工业与民用建筑中，屋面板、楼板、檩条、吊车梁、柱、墙板、基础等构配件，都可采用预应力混凝土。

特别提示

预应力混凝土不能提高构件的承载能力。也就是说，当截面和材料相同时，预应力混凝土与普通钢筋混凝土受弯构件的承载能力相同，与受拉区钢筋是否施加预应力无关。

6.5.4 预应力混凝土材料

1. 钢筋

1）性能要求

（1）强度高。混凝土预压应力的大小取决于预应力钢筋张拉应力的大小。预应力混凝土从制作到使用的各个阶段预应力钢筋一直处于高强受拉应力状态，若钢筋强度低，导致混凝土预压效果不明显，或者在使用阶段钢筋不能承担受荷任务突然脆断，因此需要采用较高的张拉应力，这就要求预应力钢筋具有较高的抗拉强度。

（2）较好的塑性、可焊性。高强度的钢筋塑性性能一般较低，为了保证结构在破坏之前有较大的变形，必须有足够的塑性性能。另外，钢筋常需要焊接或“镦粗”，这就需要经过加工后的钢筋不影响其原来的物理力学性能，所以对化学成分有一定的要求。

（3）良好的黏结性。对于先张法是通过黏结力传递预压应力，所以纵向受力钢筋宜选用直径较细的钢筋，高强度的钢丝表面要进行“刻痕”或“压波”处理。

（4）低松弛。预应力钢筋在长度不变的前提下，其应力随着时间的延长慢慢降低，不同的钢筋松弛不同，所以应选用松弛小的钢筋。

2）预应力钢筋的种类(附录D表D2)

（1）预应力混凝土所用钢丝分为中强度预应力钢丝和消除应力钢丝两种。消除应用钢丝是用高碳镇静钢轧制成的盘圆，经过加温、淬火(铅浴)、酸洗、冷拔、回火矫直等处理工序来消除应力而成的碳素钢丝，可提高抗拉强度。

（2）钢绞线是以一根直径较粗的钢丝作为钢绞线的芯，并用边丝围绕其进行螺旋状绞捻而成。钢绞线的极限抗拉强度标准值可达1960N/mm^2，在后张法预应力混凝土中采用

较多。其优点是强度高、低松弛、伸直性好、比较柔软 、盘弯方便、黏结性好。

(3) 预应力螺纹钢筋也称精轧螺纹钢筋，是由热轧、轧后余热处理或热处理等工艺生产的用于预应力混凝土的螺纹钢筋。它具有连接、锚固简便，黏结力强等优点，而且节约钢筋，能减少构件面积和质量。

2. 混凝土

预应力混凝土结构构件所用的混凝土需满足下列要求。

(1) 高强度。预应力混凝土必须采用高强度的混凝土，高强度的混凝土对采用先张法的构件可提高钢筋和混凝土之间的黏结力，对采用后张法的构件可提高锚固端的局部受压承载力；另外采用高强度的混凝土可以有效减小构件截面尺寸，减轻构件自重。

(2) 收缩小、徐变小。由于混凝土收缩徐变的结果，使得混凝土得到的有效预压力减少，即预应力损失，所以在结构设计中应采取措施减少混凝土的收缩和徐变。

(3) 快硬、早强。可及早施加预应力，提高张拉设备的周转率，加快施工速度。

6.5.5 预应力混凝土构件的一般构造要求

1. 钢筋的净距及保护层要求(表 6-12)

表 6-12 预应力筋净距 (mm)

种类 要求	螺纹钢筋	预应力钢丝	钢绞线	
			1×3	1×7
钢筋净距	≥2.5d_{eq}(d_{eq} 为预应力筋公称直径或并筋等效直径) ≥1.25d(d 为混凝土粗骨料最大粒径)			
	—	≥15	≥20	≥25
备注	(1) 预应力筋保护层厚度同普通梁 (2) 预应力筋并筋的等效直径 d_{eq}：双并筋 $d_{eq}=1.4d$、三并筋 $d_{eq}=1.7d$ (d 为单根筋直径)			

2. 后张法(有黏结力预应力混凝土)孔道(表 6-13)

表 6-13 孔道

孔道间水平净距	孔道至构件边净距
≥50mm ≥1.25d(d 为混凝土粗骨料最大粒径)	≥30mm 且≥孔径/2

在现浇混凝土梁中，预留孔道在竖直方向的净距不应小于孔道外径，水平方向的净距不宜小于 1.5 倍孔道外径，从孔道外壁至构件边缘的净间距，梁底不宜小于 50mm，梁侧不宜小于 40mm。

预留孔道的内径宜比预应力束外径及需穿过孔道的连接器外径大 6～15mm。

当有可靠经验并能保证混凝土浇筑质量时，预留孔道可水平并列贴紧布置，但并排的数量不应超过 2 束。

3. 先张法端部加强措施

由于先张法是在构件端部钢筋弹性回弹与混凝土产生相对滑动趋势(产生相对滑动趋势的长度称为传递长度)，通过在端部黏结力的积累阻止其回弹，为了尽快阻止其回弹，所以端部要采取加强措施。

(1) 对单根预应力钢筋，其端部宜设置螺旋筋[图 6.61(a)]。当有可靠经验时，亦可利用支座垫板上的插筋代替螺旋筋，但不少于 4 根，长度≥120mm[图 6.61(b)]。

(2) 对多根预应力钢筋，其端部 10d 且不小于 100mm 长度范围内，应设置 3～5 片与预应力钢筋垂直的钢筋网[图 6.61(c)]。

(3) 采用钢丝配筋的薄板，在端部 100mm 范围内应适当加密横向钢筋[图 6.61(d)]。

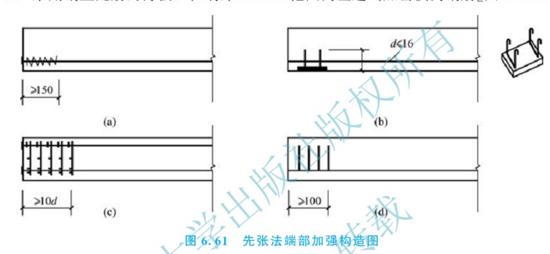


图 6.61　先张法端部加强构造图

4. 后张法端部加强措施

(1) 为了提高锚具下局部混凝土的抗压强度，防止局部混凝土压碎，应在端部预埋钢板(厚度≥10mm)，并应在垫板下设置附加横向钢筋网片[图 6.62(a)]或螺旋式钢筋[图 6.62(b)]等措施。

(2) 在局部受压间接钢筋配置区以外，在构件端部长度 l 不小于 $3e$(e 为截面重心线上部或下部预应力钢筋的合力点至邻近边缘的距离)但不大于 $1.2h$(h 为构件端部截面高度)、高度为 $2e$ 的附加配筋区范围内，应均匀配置附加箍筋或网片(图 6.63)。

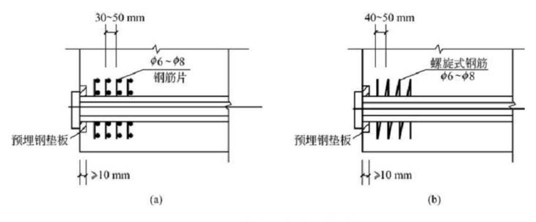


图 6.62　后张法端部加强构造图

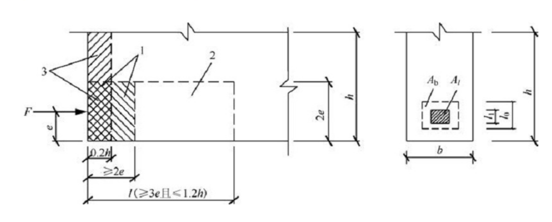


图 6.63 防止沿孔道劈裂的配筋范围

1—局部受压间接钢筋配置区；2—附加防劈裂配筋区；3—附加防端面裂缝配筋区

5. 其他构造措施

(1) 当构件在端部有局部凹进时，应增设折线构造钢筋(图 6.64)或其他有效的构造钢筋。

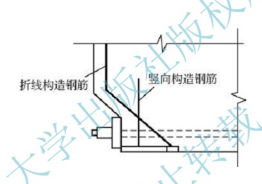


图 6.64 构件端部凹进处构造钢筋

(2) 长期外露的金属锚具应采取涂刷或砂浆封闭等防锈措施。

(3) 管道压浆要密实，不宜小于 M20 的水泥砂浆，水灰比为 0.4～0.45，为减少收缩，可掺入 0.1%水泥用量的铝粉。

(4) 凡制作时需要预先起拱的构件，预留孔道宜随构件同时起拱。

(5) 曲线预应力钢丝束、钢绞线束的曲率半径不宜小于 4m；对折线配筋的构件，在预应力钢筋弯折处的曲率半径可适当减小。

(6) 在预拉区和预压区中，应设置纵向非预应力构造钢筋，在预应力钢筋的弯折处，应加密箍筋或沿弯折处内侧设置钢筋网片。

特别提示

合理而有效的构造措施是保证设计意图的实现、方便施工和保证施工质量的重要条件。

小　结

本模块对钢筋混凝土梁、板构件的设计过程和内容进行了较为详细的阐述，包括混凝土结构所使用材料的力学性能、分类，简支板、简支梁和外伸梁的设计计算，以及混凝土构件的基本构造要求，还述及预应力构件的概念及其有关构造要求。

混凝土结构对钢筋性能的要求是：强度高，延性好，焊接性良好及与混凝土的黏结可靠。屈服强度、极限抗拉强度、延伸率和冷弯性能是衡量钢筋强度和延性的重要指标。钢筋混凝土结构中常用的钢筋 HRB400 和 HRB335 都是有明显屈服点的钢筋，其中 HRB400 级(新Ⅲ级)钢筋强度高，延性好，是目前我国钢筋混凝土结构的主力钢筋。对钢筋进行冷加工能提高强度，但延性有所降低。

混凝土的强度有立方体强度、轴心抗压强度和轴心抗拉强度。混凝土的徐变是在应力不变的情况下随时间而增长的变形。混凝土徐变会使钢筋混凝土构件的变形增加，也会造成预应力损失。混凝土的收缩是混凝土在空气中硬化体积缩小的现象。混凝土的收缩会产生裂缝，也会造成预应力损失。在设计和施工中应采取合理的措施，力求减少徐变和收缩。

设计钢筋混凝土结构时，应考虑承载能力极限状态和正常使用极限状态。

建筑结构的设计内容包括数值计算和构造措施两部分。混凝土结构设计的一般步骤是：选择材料、初定构件尺寸、确定构件计算简图、荷载计算、内力分析、截面设计、变形验算(必要时)、确定构造措施、按计算结果和构造要求绘制结构施工图。

对于混凝土结构梁、板的构造要求，应在理解的基础上学会应用。学习时可结合《混凝土结构设计规范》相关条文。

针对普通钢筋混凝土容易开裂的缺点，设法在混凝土结构或构件承受使用荷载前，预先对受拉区的混凝土施加压力后的混凝土就是预应力混凝土。预应力能够提高构件的抗裂性能和刚度。施加预应力的方法有先张法和后张法。

习　题

一、填空题

1. 混凝土结构中保护层厚度是指______________________________。

2. 在任何情况下，纵向受拉钢筋绑扎搭接接头的搭接长度均不应小于__________mm。

3. 板中分布钢筋应位于受力筋的__________，且应与受力筋__________。

4. 在主梁与次梁交接处设置的附加横向钢筋，包括__________和__________两种形式。

5. 钢筋和混凝土能够共同工作的主要原因是__________________________________。

6. 钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于__________，预应力混凝土结构的混

凝土强度等级不应低于________。

7. 当梁的腹板高度不小于________mm时，在梁的两侧应设置纵向构造钢筋和相应的拉筋。

8. 我国混凝土规范提倡用________级钢筋作为钢筋混凝土结构的主力钢筋。

9. 钢筋混凝土梁以________破坏形态为依据，建立正截面抗弯承载力计算公式。

10. 腹筋包括________、________。在钢筋混凝土梁中，宜优先采用________作为受剪钢筋。

11. 斜截面抗剪计算的上限值是________，这是为了保证梁不发生________。

12. 箍筋的________与________应满足相应的构造要求。

13. 预应力混凝土构件按施工方法可分为________和________。

14. 预应力混凝土中钢筋宜采用________。

二、选择题

1. 在混凝土各强度指标中，其设计值大小关系为(　　)。

A. $f_t > f_c > f_{cu}$　　B. $f_{cu} > f_c > f_t$　　C. $f_{cu} > f_t > f_c$　　D. $f_c > f_{cu} > f_t$

2. 钢材的伸长率δ用来反映材料的(　　)。

A. 承载能力　　B. 弹性变形能力

C. 延性性能　　D. 抗冲击荷载能力

3. 关于混凝土徐变，以下何项论述是正确的？(　　)

A. 水灰比越大徐变越小　　B. 水泥用量越大徐变越小

C. 骨料越坚硬徐变越小　　D. 养护环境湿度越大徐变越大

4. 梁中下部纵向受力钢筋的净距不应小于(　　)。

A. 25mm和1.5d　　B. 30mm和2d

C. 30mm和1.5d　　D. 25mm和d

5. 以下不属于减少混凝土收缩措施的项目是(　　)。

A. 控制水泥用量　　B. 提高混凝土强度等级

C. 提高混凝土的密实性　　D. 控制水灰比

6. 对构件施加预应力的主要目的是(　　)。

A. 提高构件承载力

B. 在构件使用阶段减少或避免裂缝出现，发挥高强度材料作用

C. 对构件进行性能检验

D. 提高构件延性

7. 下列措施中不能提高混凝土耐久性的一项是(　　)。

A. 掺用加气剂或减水剂　　B. 选用较好的砂、石集料

C. 适当控制混凝土的水灰比及水泥用量　　D. 增加混凝土密实性

8. 对于梁类、板类及墙类构件，位于同一连接区段内的受拉钢筋搭接接头面积百分率不宜大于(　　)。

A. 25%　　B. 50%　　C. 75%　　D. 100%

9. 在任何情况下，纵向受拉钢筋的搭接长度不应小于(　　)。

A. 200mm　　B. 300mm　　C. 400mm　　D. 500mm

10. 有抗震要求的箍筋末端应做成135°弯钩，弯钩端头平直段长度不应小于(　　)。
A. 箍筋直径的5倍，且不小于100mm　B. 箍筋直径的10倍，且不小于70mm
C. 箍筋直径的10倍，且不小于50mm　D. 箍筋直径的10倍，且不小于100mm
11. 钢筋混凝土适筋梁的破坏形态属于(　　)。
A. 延性破坏　B. 脆性破坏　C. A、B形式均有　D. 界限破坏
12. 钢筋混凝土单筋矩形截面梁中的架立筋，计算时(　　)。
A. 考虑其承担剪力　B. 考虑其协助混凝土承担压力
C. 不考虑其承担压力　D. 考虑其承担拉力
13. 板中纵向受力钢筋根据(　　)配置。
A. 构造　B. 正截面承载力计算
C. 斜截面承载力　D. A+B
14. 箍筋对斜裂缝的出现(　　)。
A. 影响不大　B. 不如纵筋大　C. 无影响　D. 影响很大
15. 抗剪公式适用的上限值，是为了保证(　　)。
A. 构件不发生斜压破坏　B. 构件不发生剪压破坏
C. 构件不发生斜拉破坏　D. A+B+C

三、判断题

1. 先张法是在浇筑混凝土之前张拉预应力钢筋。(　　)
2. 梁中箍筋的主要作用是承受弯矩。(　　)
3. 板中受力钢筋沿板跨度方向布置，且放置在构件下部。(　　)
4. 经过冷加工的钢筋可以提高强度，但塑性降低。(　　)
5. 架立钢筋主要作用是承担支座产生的负弯矩。(　　)
6. 少筋梁正截面受弯破坏时，破坏弯矩小于同截面适筋梁的开裂弯矩。(　　)
7. 配置了受拉钢筋的钢筋混凝土梁的极限承载力不可能小于同样截面、相同混凝土强度的素混凝土梁的承载力。(　　)
8. 受弯构件正截面的3种破坏形态均属脆性破坏。(　　)
9. 梁的抗剪计算公式的适用范围(即上、下限)是为了限制梁不出现斜压破坏和斜拉破坏。(　　)
10. 对于某一构件而言，混凝土强度等级越高，构件的混凝土最小保护层越厚。(　　)

四、计算题

1. 钢筋混凝土矩形截面梁，截面尺寸$b\times h=200\text{mm}\times 500\text{mm}$，弯矩设计值$M=120\text{kN}\cdot\text{m}$，混凝土强度等级为C25，试计算纵向受力钢筋面积$A_s$：①当选用HPB300级钢筋时；②当选用HRB400级钢筋时；③弯矩M改为180kN·m纵筋采用HRB400。最后，对3种计算结果进行对比分析。

2. 矩形截面梁$b\times h=250\text{mm}\times 500\text{mm}$，混凝土为C30，钢筋为HRB335级，受拉钢筋为4Φ18($A_s=1017\text{mm}^2$)，构件处于正常工作环境，弯矩设计值$M=100\text{kN}\cdot\text{m}$，构件安全等级为Ⅱ级。验算该梁的正截面承载力。

3. 一钢筋混凝土简支梁，截面尺寸 $b \times h = 250\text{mm} \times 700\text{mm}$，配置了 HRB400 级钢筋 2⏀25，混凝土强度等级为 C35。试求：①这根梁能承担的最大弯矩设计值 M；②如果钢筋用量增加一倍，即 4⏀25，问这根梁能负担的弯矩是否也增加一倍？

4. 一根承受均布荷载的钢筋混凝土矩形截面梁，其截面尺寸 $b \times h = 200\text{mm} \times 450\text{mm}$ ($h_0 = 405\text{mm}$)，某截面处的设计剪力 $V = 86.5\text{kN}$，该梁混凝土强度等级为 C30，箍筋为 HRB400 级，试确定该截面处的箍筋数量。

5. 一钢筋混凝土简支矩形截面梁，两端搁置在厚度为 370mm 的砖墙上，已知梁的跨度(支座中到中)为 8m，截面尺寸为 $b \times h = 200\text{mm} \times 600\text{mm}$，承受的均布荷载设计值 $q = 18\text{kN/m}$(包括梁的自重)，混凝土强度等级为 C40，纵向受力钢筋为 HRB400 级，箍筋为 HRB400 级。试确定梁的纵筋及箍筋。





模块7 钢筋混凝土柱



教学目标

通过本模块的学习，掌握钢筋混凝土柱的设计方法及构造要求；能识读柱的结构施工图。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
对钢筋混凝土柱进行设计、校核的能力	钢筋、混凝土材料的种类、强度	40%
在实际工程中理解和运用受压构件构造知识的能力	《混凝土结构设计规范(2015年版)》(GB 50010—2010)	40%
正确识读简单柱结构施工图的能力	《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(16G101—1)	20%

学习重点

钢筋混凝土轴心受压柱设计、校核；钢筋混凝土受压构件构造要求。

引例

1．工程与事故概况

某公司职工宿舍楼，该工程为4层3跨框架建筑物，长60m、宽27.5m、高16.5m(底层高4.5m，其余各层4.0m)，建筑面积6600m^2(图7.1)，始建于1993年10月，按一层作为食堂使用的考虑建造，使用8个月后又于1995年6—11月在原一层食堂上加建3层宿舍。两次建设均严重违反建设程序，无报建、无招投标、无证设计、无勘察、无证施工、无质监。此楼投入使用后，于1996年雨季后，西排柱下沉130mm，西北墙同时下沉，墙体开裂、窗户变形。1997年3月8日，底层地面出现裂缝，且多在柱子周围。建设单位请包工头察看后认为没有问题，未做任何处理。3月25日裂缝急剧发展，当日下午4时再次请包工头察看，仍未做处理。当晚7时30分该楼整体倒塌，110人被砸，死亡31人。

倒塌现场的情况如下。

(1) 主梁全部断裂为两三段，次梁有的已经碎裂；从残迹看，构件尺寸、钢筋搭接长度均不符合要求。

(2) 柱子多数断裂成两三截，有的粉碎，箍筋、拉结筋也均不符合要求。

(3) 柱底单独基础发生锥形冲切破坏，柱的底端冲破底板伸入地基土层内有400mm之多。

(4) 梁、柱筋的锚固长度严重不足，梁的主筋伸入柱内只有70～80mm。

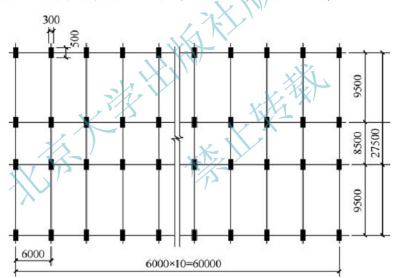


图7.1 某宿舍楼柱网平面图

2．事故原因分析

(1) 实际基础底面土压力为天然地基承载力设计值的2.3～3.6倍，造成土体剪切破坏，柱基沉降差大大超过地基变形的允许值，因而在倒塌前已造成建筑物严重倾斜、柱列沉降量过大、沉降速率过快、墙体构件开裂、地面柱子周围出现裂缝等现象。在此情况下，单独柱基受力状态变得十分复杂，一部分柱基受力必然加大，而基础底板厚度又过小，造成柱下基础底板锥形冲切破坏，柱子沉入地基土400mm之多。这是一般框架结构事故中罕见的现象。

(2) 上部结构配筋过少。底层中柱纵、横向实际配筋只达到估算需要量的21.9%和13.1%；底层边柱只达到估算需要量的32.3%和20.4%；一、二、三层梁的边支座和中间支座处实际配筋也只有估算需要量的20.8%和58.9%。

（3）上部结构的构造做法不符合要求。梁伸入柱的主筋的锚固长度太短；柱的箍筋设置过少等。

（4）施工质量低劣。柱基础混凝土取芯2处，分别只有7.4MPa和12.2MPa；在倒塌现场，带灰黄色的低强度等级的混凝土遍地可见；采用大量改制钢材，多数钢筋力学性能不符合规范要求；钢筋的绑扎也不符合要求。

（5）管理失控。本工程施工两年，除了几张做单层工程时的草图外没有任何技术资料；原材料水泥、钢筋没有合格证，也无试验报告单；混凝土不做试配，没留试块。技术上处于没有管理、随心所欲的完全失控状态。后期出现种种质量事故的征兆，不加处理，则更进一步加速建筑物的整体倒塌。

7.1 钢筋混凝土柱构造要求



【钢筋混凝土柱】

7.1.1 材料强度

一般柱中采用C25及以上等级的混凝土，对于高层建筑的底层柱可采用更高强度等级的混凝土。钢筋可采用HRB335、HRB400、HRB500级别的钢筋。

7.1.2 截面形式和尺寸

为使钢筋混凝土受压构件制作方便，通常采用方形或矩形截面。其中，从受力合理考虑，轴心受压构件和在两个方向偏心距大小接近的双向偏心受压构件宜采用正方形，而单向偏心和主要在一个方向偏心的双向偏心受压构件则宜采用矩形(较大弯矩方向通常为长边)。对于装配式单层厂房的预制柱，当截面尺寸较大时，为减轻自重，也通常采用工字形截面。

构件截面尺寸应能满足承载力、刚度、配筋率、建筑使用和经济等方面的要求，不能过小，也不宜过大，可根据每层构件的高度、两端支承情况和荷载的大小选用。对于现浇的钢筋混凝土柱，由于混凝土自上而下灌下，为避免造成灌注混凝土困难，截面最小尺寸不宜小于250mm。此外，考虑到模板的规格，柱截面尺寸宜取整数：在800mm以下时，取50mm的倍数；在800mm以上时，取100mm的倍数。

7.1.3 纵向钢筋

1. 受力纵筋的作用

对于轴心受压构件和偏心距较小、截面上不存在拉力的偏心受压构件，纵向受力钢筋主要用来帮助混凝土承压，以减小截面尺寸；同时，也可增加构件的延性及抵抗偶然因素

所产生的拉力。对偏心较大、部分截面上产生拉力的偏心受压构件，截面受拉区的纵向受力钢筋则是用来承受拉力的。

2. 受力纵筋的配筋率

受压构件纵向受力钢筋的截面面积不能太小，也不宜过大。除满足计算要求外，还需满足最小配筋率要求。全部纵向钢筋的配筋率不宜大于 5%，其最小配筋率见附录 D 表 D8。从经济和施工方便(不使钢筋太密集)角度考虑，受压钢筋的配筋率一般不超过 3%，通常为 0.5%～2%。

特别提示

(1) 受压构件的全部纵向钢筋和一侧纵向钢筋的配筋率均应按构件的全截面面积计算。

(2) 当钢筋沿构件截面周边布置时，一侧纵向钢筋是指沿受力方向两个对边中的一边布置的纵向钢筋。

3. 受力纵筋的直径

纵向受力钢筋宜采用直径较大的钢筋，以增大钢筋骨架的刚度、减少施工时可能产生的纵向弯曲和受压时的局部屈曲。纵向受力钢筋的直径不宜小于 12mm。

4. 受力纵筋的布置和间距

矩形截面钢筋根数不得少于 4 根，以便与箍筋形成刚性骨架。轴心受压构件中纵向受力钢筋应沿截面四周均匀配置，偏心受压构件中纵向受力钢筋应布置在离偏心压力作用平面垂直的两侧。圆形截面钢筋根数不宜少于 8 根，且不应少于 6 根，应沿截面四周均匀配置。纵向受力钢筋的净间距不应小于 50mm。偏心受压构件垂直于弯矩作用平面的侧面和轴心受压构件各边的纵向受力钢筋，其间距不宜大于 300mm(图 7.2)。对于水平浇筑的预制柱，其净间距应可按梁的有关规定取用。

实例二中 KZ3 为 500mm×500mm 的矩形截面柱，所配纵筋为 12Φ22；KZ6 为直径 600mm 的圆柱，其纵向钢筋为 12Φ20，均符合构造要求。

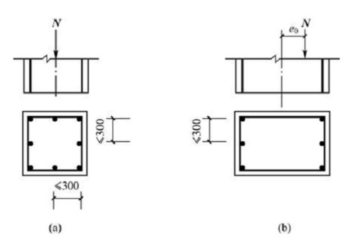


图 7.2 柱受力纵筋的布置

(a) 轴心受压柱；(b) 偏心受压柱

7.1.4 箍筋

1. 箍筋的作用

在受压构件中配置箍筋的目的是约束受压纵筋，防止其受压后外凸；密排式钢筋可约束内部混凝土，提高其强度；同时箍筋与纵筋构成骨架；一些剪力较大的偏心受压构件也需要利用箍筋来抗剪。

2. 箍筋的形式

受压构件中的周边箍筋应做成封闭式。对于形状复杂的构件，不可采用具有内折角的箍筋(图 7.3)。其原因是内折角处受拉箍筋的合力向外，可能使该处混凝土保护层崩裂。

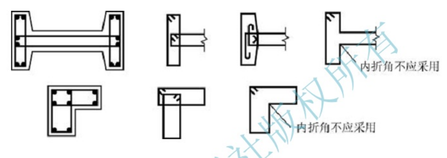


图 7.3 复杂截面的箍筋形式

当柱截面短边尺寸大于 400mm，且各边纵向钢筋多于 3 根时，或当柱截面短边不大于 400mm，但各边纵向钢筋多于 4 根时，应设置复合箍筋，其布置要求是使纵向钢筋至少每隔一根位于箍筋转角处(图 7.4、图 7.5)。

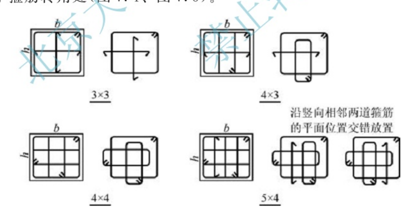


图 7.4 矩形复合箍筋形式

3. 箍筋的直径和间距

箍筋直径不应小于 $d/4$，且不应小于 6mm(d 为纵向钢筋的最大直径)。箍筋间距不应大于 400mm 及构件截面的短边尺寸，且不应大于 $15d$(d 为纵向钢筋的最小直径)；当柱中全部纵向受力钢筋的配筋率大于 3%时，箍筋直径不应小于 8mm，间距不应大于 $10d$ 且不应大于 200mm，d 为纵向受力钢筋的最小直径；箍筋末端应做成 135°弯钩，且弯钩末端平直段长度不应小于 $10d$，d 为箍筋的直径。

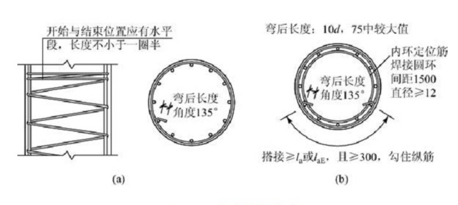


图 7.5 螺旋箍筋构造

(a) 螺旋箍筋端部构造；(b) 螺旋箍筋搭接构造

柱内纵向钢筋搭接长度范围内的箍筋间距应加密，其直径不应小于搭接钢筋较大直径的25%，箍筋间距不应大于5d，且不应大于100mm，d为纵向钢筋的最小直径。当受压钢筋直径d>25mm时，尚应在搭接接头两个端面外100mm范围内各设置两个箍筋。

7.2 钢筋混凝土柱设计实例

钢筋混凝土柱设计的具体步骤为：选择材料、确定构件尺寸、确定构件计算简图、荷载及内力计算、截面设计、确定构造措施、按计算结果和构造要求绘制结构施工图。

下面通过一根柱的设计实例来说明钢筋混凝土柱的设计方法和步骤，并通过该实例阐释有关受压构件的计算公式、图表及构造措施的具体应用。

实例二中所示教学楼为二层全现浇钢筋混凝土框架结构，层高3.6m，平面尺寸为45m×17.4m。建筑抗震设防烈度为7度。建筑平、立、剖面图见实例二建施-1、建施-2、建施-3、建施-4。该框架建筑抗震设防类别为乙类，采取二级抗震构造措施。

图7.6为框架结构的柱结构平法施工图(模块2已有介绍)，现针对KZ3柱设计计算过程进行说明。

特别提示

(1)《混凝土结构施工图平面整体表示法制图规则》(简称平法)是目前我国混凝土结构施工图的主要设计表示方法。

(2) 柱平法施工图系在柱平面布置图上采用列表注写方式或截面注写方式表达柱构件的截面形状、几何尺寸、配筋等设计内容。

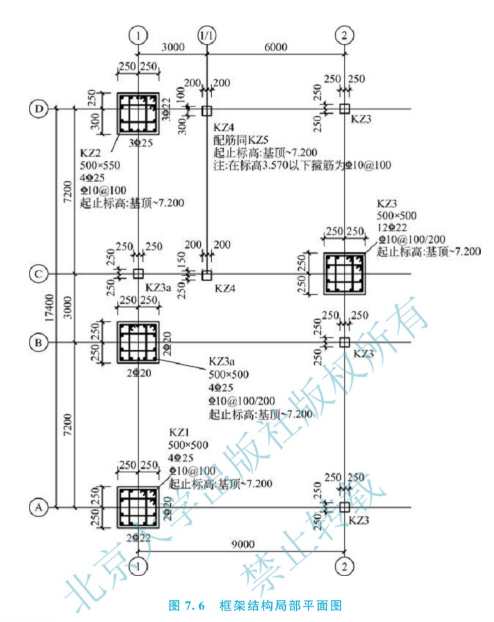


图 7.6 框架结构局部平面图

1. 材料选择

合理选用材料是结构设计的基础。此处根据本工程实际情况，选择 HRB400 级钢筋和 C30 混凝土。其强度指标可由附录 D 表 D1 查得 $f_y=360\text{N/mm}^2$，由附录 D 表 D3 查得 $f_c=14.3\text{N/mm}^2$，供设计时使用。

特别提示

计算现浇钢筋混凝土轴心受压柱及偏心受压构件时，如截面的长边或直径小于 300mm，则附录 D 表 D3 中混凝土的强度设计值应乘以系数 0.8；当构件质量(如混凝土成型、截面和轴线尺寸等)确有保证时，可不受此限制。

2. 确定构件形状和尺寸

钢筋混凝土受压构件截面一般采用正方形或矩形截面，有特殊要求时也采用圆形或多边形截面，装配式厂房柱则常用工字形截面。为了避免构件长细比过大，承载力降低过

多，柱截面尺寸一般不宜小于 250mm×250mm，应控制在 $l_0/b\leqslant30$、$l_0/h\leqslant25$、$l_0/d\leqslant25$。此处，l_0为柱的计算长度，b 为柱的短边，h 为柱的长边，d 为圆形柱的直径。当柱截面的边长在 800mm 以下时，一般以 50mm 为模数；当边长在 800mm 以上时，以 100mm 为模数。

3. 计算简图

除装配式框架外，一般可将框架结构的梁、柱节点视为刚性节点，柱固结于基础顶面。

4. 荷载及内力计算

结构承受的作用包括竖向荷载、风荷载和地震作用，竖向荷载包括结构自重及楼(屋)面活荷载。多层建筑中的柱以轴力为主。

实例二中框架结构为超静定结构，C 轴的 KZ3 近似按轴心受压构件进行计算，其内力是由建筑结构计算软件计算得出的，柱底轴向力设计值 $N=1180\text{kN}$。

5. 截面设计

钢筋混凝土受压构件按纵向力与构件截面形心相互位置的不同，可分为轴心受压构件与偏心受压构件(单向偏心受压和双向偏心受压构件)，如图 7.7 所示。当纵向外力 $\boldsymbol{N}$ 的作用线与构件截面形心轴线重合时为轴心受压构件，当纵向外力 $\boldsymbol{N}$ 的作用线与构件截面形心轴线不重合时为偏心受压构件，偏心受压构件又可分为大偏心受压构件和小偏心受压构件。

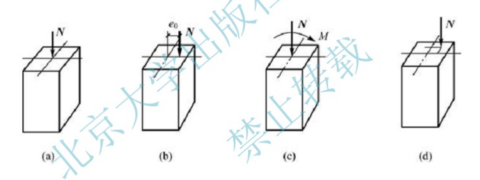


图 7.7 轴心受压和偏心受压

(a) 轴心受压；(b) 单向偏心受压；(c) 单向偏心受压；(d) 双向偏心受压

特别提示

框架柱属偏心受压构件，一般采用对称配筋，在中间轴线上的框架柱按单向偏心受压考虑，边柱按双向偏心受压考虑。

1) 轴心受压构件

钢筋混凝土轴心受压柱的正截面承载力由混凝土承载力和钢筋承载力两部分组成，其计算步骤如下。

(1) 求稳定系数 φ。由于实际工作中初始偏心距的存在，且受压构件多为细长构件，破坏前将发生纵向弯曲，所以需要考虑纵向弯曲对构件截面承载力的影响。在轴心受压柱承载力的计算中，采用了稳定系数 φ 来表示承载力的降低程度。稳定系数主

要和构件的长细比有关，长细比越大，φ值越小(表7-1)。构件的计算长度l_0与构件两端支承情况有关，一般多层房屋中梁柱为刚接的框架结构，各层柱的计算长度l_0可按表7-2确定。

本例为现浇框架，其底层柱$l_0=1.0H=1\times4.6=4.6$(m)。

表7-1 钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数φ

l_0/b	≤8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
l_0/d	≤7	8.5	10.5	12	14	15.5	17	19	21	22.5	24
l_0/i	≤28	35	42	48	55	62	69	76	83	90	97
φ	1.0	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56
l_0/b	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
l_0/d	26	28	29.5	31	33	34.5	36.5	38	40	41.5	43
l_0/i	104	111	118	125	132	139	146	153	160	167	174
φ	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

注：表中l_0为构件计算长度；b为矩形截面的短边尺寸；d为圆形截面的直径；i为截面最小回转半径。

特别提示

(1) 当应用表7-1查φ值时，若为l_0/b为表格中没有列出的数值，可利用线性插入法来确定φ值。

(2) 当$l_0/b\leqslant8$时，$\varphi=1$。

表7-2 框架结构各层柱的计算长度

楼盖类型	柱的类别	l_0
现浇楼盖	底层柱	$1.0H$
	其余各层柱	$1.25H$
装配式楼盖	底层柱	$1.25H$
	其余各层柱	$1.5H$

特别提示

对底层柱，H为基础顶面到一层楼盖顶面之间的距离；对其余各层柱，H为上、下两层楼盖顶面之间的距离。

(2) 求纵向钢筋截面面积 A_s'，即

$$N \leqslant 0.9\varphi(f_c A + f_y' A_s') \tag{7-1}$$

式中，N——轴向力设计值；

φ——钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数，按表 7-1 采用；

f_c——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_y'——纵向钢筋的抗压强度设计值；

A——构件截面面积；

A_s'——全部纵向钢筋的截面面积，当纵向钢筋配筋率大于 3%时，式中 A 应改用 A_s'代替。

特别提示

当柱中全部纵向受力钢筋的配筋率大于 3%时，箍筋直径不应小于 8mm，间距不应大于纵向受力钢筋最小直径的 10 倍，且不应大于 200mm。箍筋末端应做成 135°弯钩，且弯钩末端平直段长度不应小于箍筋直径的 10 倍。

(3) 配置纵向钢筋。根据计算所需的 A_s'确定柱中纵向受力钢筋的直径和根数。选择钢筋根数时应考虑钢筋之间有足够的净距，以保证钢筋和混凝土之间的黏结力。

(4) 选择箍筋。柱中箍筋的作用是防止纵筋向外压屈，提高柱的受剪承载力，与纵筋形成骨架，且对核心部分的混凝土起到约束作用。

(5) 验算配筋率，即

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \times h}$$

柱中全部纵向钢筋的配筋率不宜大于 5%，最小配筋率满足附录 D 表 D8 的要求。

(6) 画出配筋图。

应用案例

某现浇多层钢筋混凝土框架结构，底层中柱按轴心受压构件计算，柱高 $H=6.4$m，柱截面面积 $b \times h = 400\text{mm} \times 400\text{mm}$，承受轴向压力设计值 $N=2450$kN，采用 C30 级混凝土（$f_c=14.3\text{N/mm}^2$）、纵筋 HRB500 级钢筋（$f_y'=410\text{N/mm}^2$），箍筋 HPB300 级，求纵向钢筋面积，并配置纵向钢筋和箍筋。

解：(1) 求稳定系数。

柱计算长度：$l_0 = 1.0H = 1.0 \times 6.4 = 6.4(\text{m})$

$$\frac{l_0}{b} = \frac{6400}{400} = 16$$

查表 7-1，得 $\varphi=0.87$。

(2) 计算纵向钢筋面积 A_s'。由式(7-1)得

$$A_s' = \frac{\dfrac{N}{0.9\varphi} - f_c A}{f_y'} = \frac{\dfrac{2450 \times 10^3}{0.9 \times 0.87} - 14.3 \times 400^2}{410} = 2051(\text{mm}^2)$$

(3) 配筋：选用纵向钢筋 8Φ20($A_s'=2513\text{mm}^2$)。

箍筋：直径 d $\begin{cases} \geqslant \dfrac{d}{4}=\dfrac{20}{4}=5(\text{mm}) \\ \geqslant 6\text{mm} \end{cases}$ 取 $d=8\text{mm}$

间距 s $\begin{cases} \leqslant 400\text{mm} \\ \leqslant b=400\text{mm} \\ \leqslant 15d=15\times 20=300(\text{mm}) \end{cases}$ 取 $s=200(\text{mm})$

所以，箍筋选用Φ8@200。

(4) 验算。

$$\rho=\frac{A_s'}{b\times h}=\frac{2513}{400\times 400}=0.0157=1.57\%$$

$\rho>0.5\%$，满足最小配筋率的要求。

$\rho<3\%$，不必用 $A-A_s'$ 代替 A。

(5) 画截面配筋图(图 7.8)。

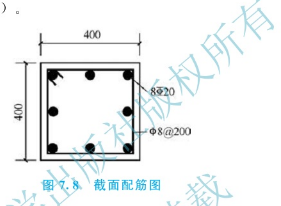


图 7.8 截面配筋图

2) 偏心受压构件

偏心受压构件是轴向压力 N 和弯矩 M 共同作用，或轴向压力 N 的作用线与重心线不重合的结果，截面出现部分受压和部分受拉或全截面不均匀受压的情况。

偏心受压构件的工程破坏试验。试验研究表明，偏心受压构件的破坏形态与轴向压力偏心距 e_0 的大小和构件的配筋情况有关，分为大偏心受压破坏和小偏心受压破坏两种(图 7.9)。大、小偏心破坏之间，有一个界限破坏，具体情况见表 7-3。

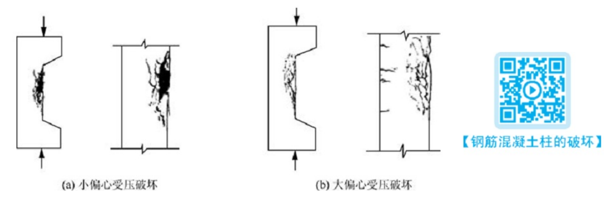


图 7.9 偏心受压构件的破坏形态

表 7-3　偏心受压构件的破坏特征

破坏特征	条　　件	特　　征	破坏性质	判别标准
大偏心受压破坏(受拉破坏)	偏心距 e_0 较大，且受拉钢筋 A_s 配置不太多	离 N 较远一侧的截面受拉，另一侧截面受压；首先在受拉区出现横向裂缝，裂缝处拉力全部由钢筋承担。荷载继续加大，受拉钢筋首先达到屈服，并形成一条明显的主裂缝，随后主裂缝明显加宽并向受压一侧延伸，受压区高度迅速减小。最后，受压区边缘出现纵向裂缝，受压区混凝土被压碎而导致构件破坏[图 7.11(b)]	有明显预兆，属于延性破坏	$\xi=\frac{x}{h_0}\leqslant\xi_b$
小偏心受压破坏(受压破坏)	偏心距 e_0 较小，或偏心距 e_0 虽然较大但配置的受拉钢筋过多	整个截面全部受压或大部分受压，随着荷载 N 逐渐增加，靠近轴 N 混凝土达到极限应变 ε_{cu} 被压碎，受压钢筋 A_s' 的应力也达到 f_y'，远离 N 一侧的钢筋 A_s 可能受压，也可能受拉，但因本身截面应力太小或配筋过多，达不到屈服强度[图 7.11(a)]	无明显预兆，属脆性破坏	$\xi=\frac{x}{h_0}>\xi_b$

注：x——混凝土受压区高度；h_0——截面有效高度；ξ——相对受压区高度；ξ_b——界限相对受压区高度；A_s——离 N 较远一侧钢筋截面面积；A_s'——离 N 较近一侧钢筋截面面积。

特别提示

两种偏心受压破坏的界限条件是在破坏时纵向钢筋达到其屈服强度，同时混凝土达到极限压应变被压碎，称为界限破坏，此时其相对受压区高度称为界限相对受压区高度 ξ_b。

知识链接

1. 螺旋箍筋柱

螺旋箍筋柱中，由于螺旋筋或焊接环筋的套箍作用可约束核心混凝土(螺旋筋或焊接环筋所包围的混凝土)的横向变形，使得核心混凝土处于三向受压状态，从而间接地提高混凝土的纵向抗压强度。当混凝土纵向压缩产生横向膨胀时，将受到密排螺旋筋或焊接环筋的约束，在箍筋中产生拉力而在混凝土中产生侧向压力。当构件的压应变超过无约束混凝土的极限应变后，尽管箍筋以外的表层混凝土会开裂甚至剥落而退出工作，但核心混凝土尚能继续承担更大的压力，直至箍筋屈服。显然，混凝土抗压强度的提高程度与箍筋的约束力的大小有关。为了使箍筋对混凝土有足够大的约束力，箍筋应为圆形，当为圆环时应焊接。由于螺旋筋或焊接环筋间接地起到了纵向受压钢筋的作用，故又称其为间接钢筋。

需要说明的是，螺旋箍筋柱虽可提高构件承载力，但施工复杂、用钢量较大，一般仅

用于轴力很大，截面尺寸又受限制，采用普通箍筋柱会使纵向钢筋配筋率过高，而混凝土强度等级又不宜再提高的情况。

2. 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算

当偏心受压构件仅考虑竖向荷载作用时，剪力值相对较小，但对于承受较大水平力作用下的框架柱，可能作用有较大的剪力值，必须考虑其斜截面受剪承载力。

小　结

(1) 轴心受压构件的承载力由混凝土和纵向受力钢筋两部分抗压能力组成，同时要考虑纵向弯曲对构件截面承载力的影响。其计算公式为

$$N \leqslant 0.9\varphi(f_c A + f'_y A'_s)$$

(2) 高强度钢筋在受压构件中不能发挥作用，在受压构件中不宜采用高强度钢筋。

(3) 偏心受压构件按其破坏特征不同，分为大偏心受压构件和小偏心受压构件。

$\xi=\frac{x}{h_0}\leqslant\xi_b$ 为大偏心受压破坏；$\xi=\frac{x}{h_0}>\xi_b$ 为小偏心受压破坏。

习　题

一、填空题

1. 钢筋混凝土轴心受压构件的承载力由__________和__________两部分抗压能力组成。

2. 钢筋混凝土柱中箍筋的作用之一是约束纵筋，防止纵筋受压后__________。

3. 钢筋混凝土柱中纵向钢筋净距不应小于__________mm。

二、选择题

1. 纵向弯曲会使受压构件承载力降低，其降低程度随构件的(　　)增大而增大。

A. 混凝土强度　　B. 钢筋强度　　C. 长细比　　D. 配筋率

2. 受压构件全部受力纵筋的配筋率不宜大于(　　)。

A. 4%　　B. 5%　　C. 6%　　D. 4.5%

3. 某矩形截面轴心受压柱，截面尺寸为400mm×400mm，经承载力计算纵向受力钢筋面积 $A_s=760mm^2$，对于实配钢筋以下哪项是正确的？(　　)

A. 3Φ18　　B. 4Φ16　　C. 2Φ22　　D. 5Φ14

4. 以下关于钢筋混凝土柱构造要求的叙述中，哪种是不正确的？(　　)

A. 纵向钢筋配置越多越好　　B. 纵向钢筋沿周边布置

C. 箍筋应形成封闭　　D. 纵向钢筋净距不小于50mm

5. 小偏心受压破坏的主要特征是(　　)。

A. 混凝土首先被压碎

B. 钢筋首先被拉屈服

C. 混凝土被压碎时钢筋同时被拉屈服

D. 钢筋先被拉屈服然后混凝土被压碎

三、判断题

1. 大偏心受压破坏的截面特征是：受压钢筋首先屈服，最终受压边缘的混凝土也因压应变达到极限值而破坏。 (　　)

2. 一般柱中箍筋的加密区位于柱的中间部位。 (　　)

四、计算题

某钢筋混凝土轴心受压柱，截面尺寸为350mm×350mm，计算长度 $l_0=3.85\mathrm{m}$，混凝土强度等级为C30、纵筋为HRB500，承受轴心压力设计值 $N=1800\mathrm{kN}$。试根据计算和构造选配纵筋。




模块8 钢筋混凝土框架结构构造

教学目标

通过本模块的学习，掌握钢筋混凝土框架结构的抗震构造。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
理解钢筋混凝土梁柱连接设计基本理论，掌握钢筋混凝土框架结构构造	钢筋混凝土梁构造要求；钢筋混凝土柱构造要求；钢筋混凝土框架节点构造要求	100%

学习重点

抗震等级，现浇框架结构抗震构造。

引例

实例二中教学楼为两层全现浇钢筋混凝土框架结构，层高 3.6m，平面尺寸为 45m×17.4m。建筑抗震设防烈度为 7 度。建筑平、立、剖面图见实例二建施图，三维效果图如图 1.1(b)所示。

思考该框架结构梁、柱及节点处应如何处理。

框架结构只有通过连接才能形成整体。现浇框架的连接构造要求主要是梁与柱、柱与柱之间的配筋构造要求。这些要求的满足与否直接影响着节点的受力性能，关系到整个框架是否安全可靠、经济合理，施工是否方便，所以连接构造要求必须引起重视。

震害调查表明，钢筋混凝土框架的震害主要发生在梁端、柱端和梁柱节点处。框架梁由于梁端处的弯矩、剪力均较大，并且是反复受力，故破坏常发生在梁端。梁端可能会由于纵筋配筋不足、钢筋端部锚固不好、箍筋配置不足等原因而引起破坏。框架柱由于两端弯矩大，破坏一般发生在柱的两端。柱端可能由于柱内纵筋不足，箍筋较少，对混凝土约束差而引起破坏。梁柱节点多由于节点内未设箍筋或箍筋不足，以及核心区钢筋过密而影响混凝土浇筑质量引起破坏。

8.1 抗震等级

《建筑抗震设计规范》根据建筑物的重要性、设防烈度、结构类型和房屋高度等因素，将其抗震要求以抗震等级表示，抗震等级分为四级，现浇钢筋混凝土框架结构的抗震等级划分见表 8-1。一级抗震要求最高，四级抗震要求最低，对于不同抗震等级的建筑物采取不同的计算方法和构造要求，以利于做到经济合理的设计。

表 8-1 现浇钢筋混凝土框架结构的抗震等级

结构类型		设防烈度						
		6		7		8		9
框架结构	高度/m	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24	≤24
	框架	四	三	三	二	二	一	一
	大跨度框架	三		二		一		一

注：(1) 建筑场地为Ⅰ类时，除 6 度外应允许按表内降低一度所对应的抗震等级采取抗震构造措施，但相应的计算要求不应降低。

(2) 接近或等于高度分界时，应允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级。

(3) 大跨度框架指跨度不小于 18m 的框架。



特别提示

查表知实例二现浇框架抗震等级为三级，但该项目为教学楼，属重点设防类建筑，应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施，即该框架采取二级抗震构造措施。

8.2 框架梁构造要求



【框架梁的配筋】

1. 截面尺寸

梁的截面宽度不宜小于200mm，截面高宽比不宜大于4，净跨与截面高度之比不宜小于4。

2. 纵向钢筋

（1）梁端纵向受拉钢筋的配筋率不宜大于2.5%，纵向受拉钢筋的配筋率不应小于表8-2的规定。

（2）梁端截面的底面和顶面纵向钢筋配筋量的比值，除按计算确定外，一级不应小于0.5，二、三级不应小于0.3。

（3）沿梁全长顶面和底面的配筋，一、二级不应小于2Φ14，且分别不应小于梁两端顶面和底面纵向钢筋中较大截面面积的1/4，三、四级不应小于2Φ12。

（4）一、二、三级框架梁内贯通中柱的每根纵向钢筋直径，对矩形截面柱，不宜大于柱在该方向截面尺寸的1/20；对圆形截面柱，不宜大于纵向钢筋所在位置柱截面弦长的1/20。

实例二中KL3截面尺寸为250mm×600mm；梁端顶部所配钢筋为2Φ22+2Φ20，底部钢筋为3Φ20；沿梁全长顶面钢筋为2Φ22；KZ3截面尺寸为500mm×500mm，柱中的纵向钢筋直径为22mm；梁、柱截面和纵筋均符合构造要求。框架中的其余梁、柱也都符合相关构造要求。

表8-2 框架梁纵向受拉钢筋的最小配筋百分率(%)

抗震等级	梁中位置	
	支座	跨中
一级	0.40和$80f_t/f_y$的较大值	0.30和$65f_t/f_y$的较大值
二级	0.30和$65f_t/f_y$的较大值	0.25和$55f_t/f_y$的较大值
三、四级	0.25和$55f_t/f_y$的较大值	0.20和$45f_t/f_y$的较大值

3. 箍筋

梁端箍筋应加密，箍筋加密区的范围和构造要求应按表8-3采用，当梁端纵向受拉钢筋配筋率大于2%时，表中箍筋最小直径数值应增大2mm。梁端加密区的肢距，一级不

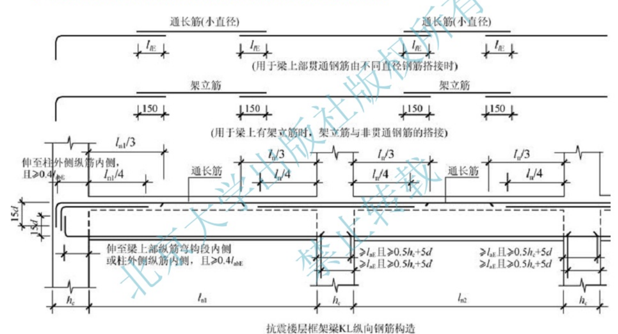
宜大于 200mm 和 $20d$(d 为箍筋直径较大者)，二、三级不宜大于 250mm 和 $20d$，四级不宜大于 300mm。

表 8-3　梁端箍筋加密区的长度、箍筋的最大间距和最小直径

抗震等级	加密区长度/mm (采用较大值)	箍筋最大间距/mm (采用最小值)	箍筋最小直径/mm
一	$2h_b$，500	$h_b/4$，$6d$，100	10
二	$1.5h_b$，500	$h_b/4$，$8d$，100	8
三	$1.5h_b$，500	$h_b/4$，$8d$，150	8
四	$1.5h_b$，500	$h_b/4$，$8d$，150	6

注：d 为纵向钢筋直径，h_b 为梁截面高度。一、二级抗震等级框架梁，当箍筋直径大于 12mm 且根数不少于 4 根时，箍筋加密区最大间距应允许适当放松，但不应大于 150mm。

4. 抗震楼层框架梁和屋面框架梁钢筋构造（图 8.1）



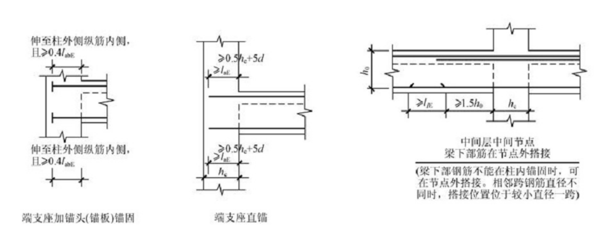


图 8.1　抗震楼层框架梁 KL 和屋面框架梁 WKL 钢筋构造

伸至柱外侧纵筋内侧，且$\geqslant 0.4l_{abE}$

伸至柱外侧纵筋内侧，且$\geqslant 0.4l_{abE}$

端支座加锚头(锚板)锚固

$\geqslant 0.5h_c+5d$

$\geqslant l_{aE}$

$\geqslant 0.5h_c+5d$

$\geqslant l_{aE}$

h_c

端支座直锚

h_0

$\geqslant l_{lE}$ $\geqslant 1.5h_0$ h_c

中间层中间节点
梁下部筋在节点外搭接

(梁下部钢筋不能在柱内锚固时，可在节点外搭接。相邻跨钢筋直径不同时，搭接位置位于较小直径一跨)

通长筋(小直径) 通长筋(小直径)

l_{lE} l_{lE} l_{lE} l_{lE}

(用于梁上部贯通钢筋由不同直径钢筋搭接时)

架立筋 架立筋

150 150 150 150

(用于梁上有架立筋时，架立筋与非贯通钢筋的搭接)

角部附加钢筋

$l_{n1}/3$ $l_{n1}/4$ 通长筋 $l_n/3$ $l_n/4$ $l_n/3$ $l_n/4$ 通长筋 $l_n/3$ $l_n/4$

$15d$

伸至梁上部纵筋弯钩段内侧，且$\geqslant 0.4l_{abE}$

$\geqslant l_{aE}$且$\geqslant 0.5h_c+5d$

$\geqslant l_{aE}$且$\geqslant 0.5h_c+5d$

$\geqslant l_{aE}$且$\geqslant 0.5h_c+5d$

$\geqslant l_{aE}$且$\geqslant 0.5h_c+5d$

h_c l_{n1} h_c l_{n2} h_c

抗震屋面框架梁WKL纵向钢筋构造

伸至梁上部纵筋弯钩段内侧且$\geqslant 0.4l_{abE}$

h_c

顶层端节点梁下部钢筋端头加锚头(锚板)锚固

$\geqslant 0.5h_c+5d$

$\geqslant l_{aE}$

h_c

顶层端支座梁下部钢筋直锚

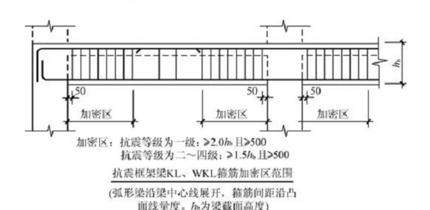
h_0

$\geqslant l_{lE}$ $\geqslant 1.5h_0$ h_c

顶层中间节点梁下部筋在节点外搭接

(梁下部钢筋不能在柱内锚固时，可在节点外搭接。相邻跨钢筋直径不同时，搭接位置位于较小直径一跨)

图8.1 抗震楼层框架梁KL和屋面框架梁WKL钢筋构造(续)





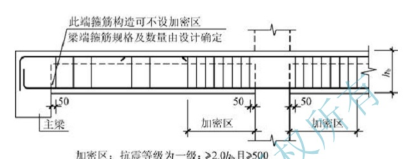


图 8.1　抗震楼层框架梁 KL 和屋面框架梁 WKL 钢筋构造(续)

应用案例 8-1

以实例二中 KL3 为例，该框架梁有 3 跨，两端跨截面尺寸为 250mm×600mm，中跨为 250mm×400mm，符合抗震框架梁截面尺寸不宜小于 200mm，高宽比不宜大于 4 的要求。

该梁上部，A 支座 2Φ22+2Φ20，B 支座 2Φ22+2Φ20，C 支座 2Φ22+4Φ20(4/2)，D 支座 4Φ22，通长筋为③号钢筋 2Φ 22。梁下部第一跨纵筋 3Φ20，第二跨纵筋 3Φ18，下部第三跨纵筋 2Φ25+2Φ22。符合二级框架应配置不少于 2Φ 14 通长纵向钢筋的要求。

KL3 支座上部钢筋为两排，第二排钢筋应在伸出支座后 $l_n/4$ 处切断，即 $l_n/4=6700/4=1675$(mm)，取 1700mm；第一排钢筋应在伸出支座后 $l_n/3$ 处切断，即 $l_n/3=6700/3=2233$(mm)，取 2250mm。l_n 为左跨 2500mm 和右跨 6700mm 两者中的较大值。

该梁左端跨箍筋为 Φ8@100/200(2)，中跨、右跨为 Φ8@100(2)。根据表 8-3 的规定，抗震等级为二级时，箍筋最小直径为 8mm，最大间距为 $h_b/4$、$8d$、100 中的较小值。$h_b/4=600/4=150$(mm)；$8d=8\times22=176$(mm)；100mm；采用 Φ8@100 符合要求。加密区长度应取 $1.5h_b=1.5\times600=900$(mm) 和 500mm 的较大值，即 900mm。

该梁两端跨截面尺寸为 250mm×600mm，截面腹板高度大于 450mm，在梁的两侧沿高度配置纵向构造钢筋 4Φ12，用于防止在梁的侧面产生垂直于梁轴线的收缩裂缝，同时也可增强钢筋骨架的刚度，并用拉筋 Φ8@400 连系纵向构造钢筋。

KL3 配筋图如图 8.2 所示。

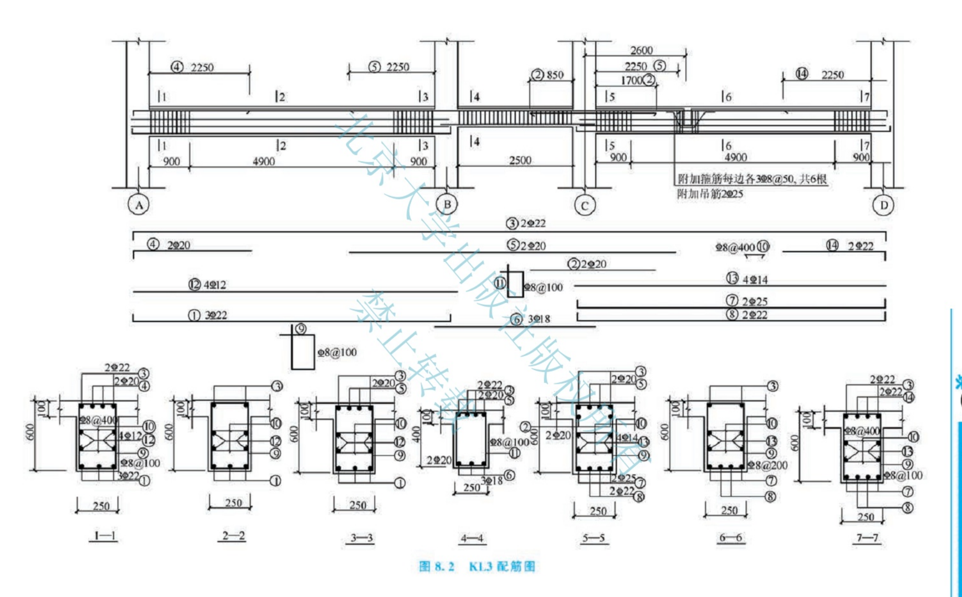


图 8.2 KL3 配筋图

8.3 框架柱构造要求


【框架柱钢筋】

1. 截面尺寸

框架柱截面的宽度和高度：矩形截面柱，抗震等级为四级或不超过2层时，其截面尺寸不宜小于300mm，一、二、三级且超过2层时不宜小于400mm；圆柱的截面直径，抗震等级为四级或不超过2层时不宜小于350mm，一、二、三级且超过2层时不宜小于450mm。柱的剪跨比宜大于2；柱截面长边与短边的边长比不宜大于3。

2. 纵向钢筋

(1) 柱纵向钢筋的最小总配筋率应按表8-4采用，同时每一侧配筋率不应小于0.2%；对Ⅳ类场地上较高的高层建筑，最小总配筋率应增加0.1%。

(2) 柱中纵筋宜对称配置。

(3) 截面尺寸大于400mm的柱，纵向钢筋间距不宜大于200mm。

(4) 柱总配筋率不应大于5%。

(5) 一级且剪跨比不大于2的柱，每侧纵向钢筋配筋率不宜大于1.2%。

(6) 边柱、角柱在地震作用组合产生小偏心受拉时，柱内纵筋总截面面积应比计算值增加25%。

(7) 柱纵向钢筋的绑扎接头应避开柱端的箍筋加密区。

表8-4 柱截面纵向钢筋的最小总配筋率(%)

类别	抗震等级			
	一	二	三	四
中柱和边柱	0.9(1.0)	0.7(0.8)	0.6(0.7)	0.5(0.6)
角柱、框支柱	1.1	0.9	0.8	0.7

注：(1) 表中括号内的数值用于框架结构的柱。
(2) 钢筋强度标准值小于400MPa时，表中数值应增加0.1；钢筋强度标准值为400MPa时，表中数值应增加0.05。
(3) 混凝土强度等级高于C60时，上述数值应相应增加0.1。

3. 箍筋

框架柱的上下端箍筋应加密。一般情况下，柱端加密区的箍筋间距和直径应按表8-5采用；一级框架柱的箍筋直径大于12mm且箍筋肢距不大于150mm，二级框架柱的箍筋直径不小于10mm且箍筋肢距不大于200mm时，除柱根外最大间距应允许采用150mm；三级框架柱的截面尺寸不大于400mm时，箍筋最小直径应允许采用6mm；四级框架柱剪跨比不大于2时，箍筋直径不应小于8mm；框支柱和剪跨比不大于2的框架柱，箍筋间距不应大于100mm。

表 8-5 柱箍筋加密区箍筋最大间距和最小直径

抗 震 等 级	箍筋最大间距/mm (采用较小值)	箍筋最小直径/mm
一	6*d*，100	10
二	8*d*，100	8
三	8*d*，100(柱根 100)	8
四	8*d*，100(柱根 100)	6(柱根 8)

注：*d* 为柱纵筋最小直径，柱根指框架底层柱的嵌固部位。

柱箍筋加密区箍筋肢距，一级不宜大于 200mm，二、三级不宜大于 250mm 和 20 倍箍筋直径的较大值，四级不宜大于 300mm。至少每隔一根纵向钢筋宜在两个方向有箍筋或拉筋约束；采用拉筋复合箍时，拉筋宜紧靠纵向钢筋并勾住箍筋。

4. 抗震框架柱纵向钢筋连接构造（图 8.3）

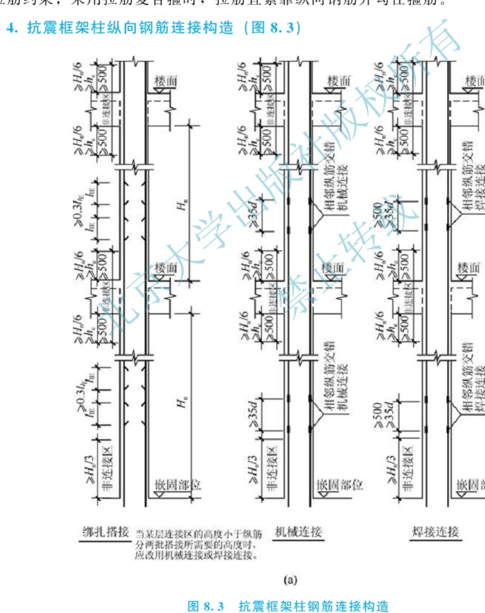


图 8.3 抗震框架柱钢筋连接构造

(a)抗震 KZ 纵向钢筋连接



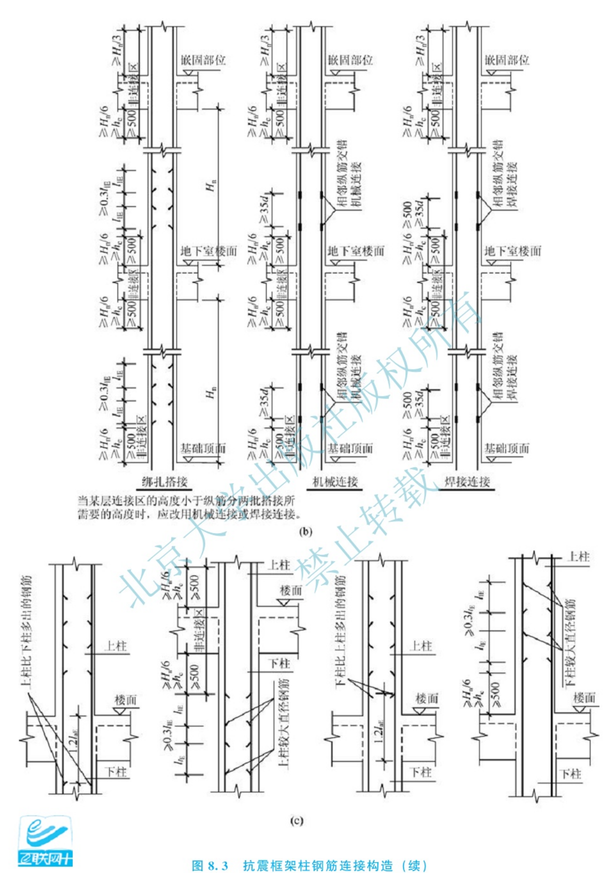


图 8.3 抗震框架柱钢筋连接构造（续）

(b)地下室 KZ 纵向钢筋连接；(c)抗震 KZ 上下柱纵筋直接或根数不同时纵筋连接构造

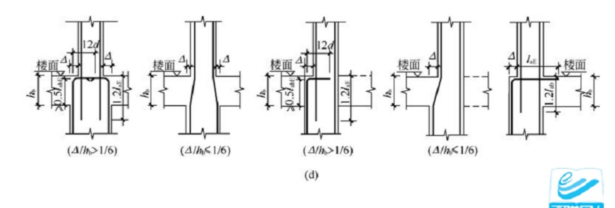


图 8.3 抗震框架柱钢筋连接构造（续）

(d)抗震框架柱变截面位置纵向钢筋构造

应用案例 8-2

实例二中框架柱 KZ3 截面尺寸为 500mm×500mm，柱中纵向受力钢筋 12⌀22，箍筋⌀10@100/200，柱高度自基顶到标高 7.200。

该框架柱采用对称配筋，沿柱边均匀布置有 12⌀22 钢筋，纵筋间距不大于 200mm。纵筋采用搭接连接，搭接位置在楼层梁顶标高以上 1000mm 范围内，且该范围箍筋加密间距为 100mm。顶层柱纵筋伸至柱顶并向外弯折锚固于梁内。

5. 框架节点的构造要求

(1) 框架节点核心区内应设置箍筋，直径和间距按加密区设置（图 8.4）。

(2) 框架梁纵向受力钢筋的构造要求。



【框架节点钢筋】

在中间层边节点处，上部钢筋和下部钢筋均应进行锚固；顶层及中间层中间节点处，梁上部钢筋应贯穿，下部钢筋可进行锚固也可在节点处搭接；顶层边节点处，梁上部钢筋与柱外侧纵筋进行搭接，下部钢筋应进行锚固。详见图 8.1。

(3) 框架柱纵向受力钢筋的构造要求。

中间层边节点及中间节点处，柱纵筋宜贯穿，如出现特殊情况可锚固；顶层中间节点处，柱纵筋应锚固；顶层边节点处，柱外侧纵筋与梁上部纵筋应搭接，柱内侧纵筋应锚固，详见图 8.5 及图 8.6。

应用案例 8-3

实例二 KZ3 配筋图中，顶层中间节点柱内纵向钢筋③2⌀25 和④2⌀25 伸入柱顶向外弯入框架梁内进行锚固，锚固长度不小于 12d。顶层端节点柱内侧钢筋的锚固要求同顶层中间节点的纵向钢筋，外侧纵筋与梁上部纵筋在节点内搭接连接。



注:

(1) 除具体工程设计注有全高加密箍筋的柱之外，一至四级抗震等级的柱箍筋按本图所示加密区范围加密。

(2) 当柱纵筋采用搭接连接时，应在柱纵筋搭接长度范围内均按≤5d(d为搭接钢筋较小直径)及≤100mm的间距加密箍筋。

(3) 本图所包含的柱箍筋加密区范围及构造适用于抗震框架柱、剪力墙上柱和梁上柱。图中梁顶标高亦为剪力墙上柱柱根部位的墙顶标高。

(4) H_n为所在楼层的柱净高。

图 8.4　抗震框架柱箍筋加密区范围

(a)KZ、QZ、LZ 箍筋加密区范围；(b)箍筋加密区范围；(c)底层刚性地面上下各加密 500

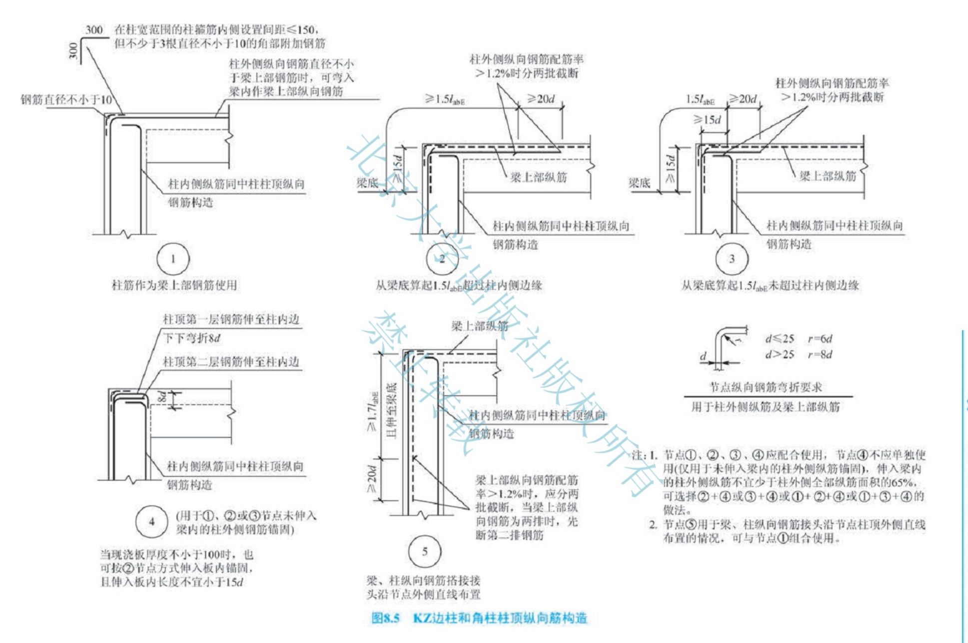
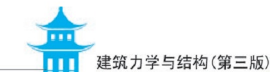


图8.5 KZ边柱和角柱柱顶纵向筋构造

注：1. 节点①、②、③、④应配合使用，节点④不应单独使用(仅用于未伸入梁内的柱外侧纵筋锚固)，伸入梁内的柱外侧纵筋不宜少于柱外侧全部纵筋面积的65%，可选择②+④或③+④或①+②+④或①+③+④的做法。

2. 节点⑤用于梁、柱纵向钢筋接头沿节点柱顶外侧直线布置的情况，可与节点①组合使用。



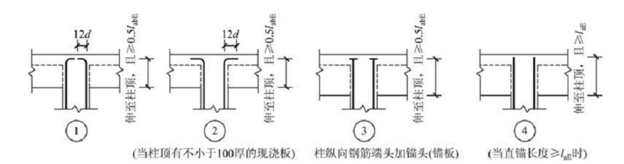


图 8.6　KZ 中柱柱顶纵向构造



小　结

现浇框架的连接构造要求主要是梁与柱、柱与柱之间的配筋构造要求。梁、柱节点构造是保证框架结构整体空间性能的重要措施。



习　题

一、填空题

1. 框架的抗震等级分为__________级。

2. 考虑抗震要求，框架柱截面的宽度和高度不宜小于__________mm。

二、判断题

1. 框架梁下部纵向受力钢筋一般在跨中进行连接。　　(　　)

2. 框架柱纵向钢筋的接头可采用绑扎搭接、机械连接或焊接连接等方式，宜优先采用绑扎搭接。　　(　　)



模块9 钢筋混凝土楼盖、楼梯及雨篷



教学目标

通过本模块的学习，了解钢筋混凝土楼盖的分类和构造特点，理解单向板和双向板的划分方法；掌握钢筋混凝土单向板的结构平面布置及构造规定；掌握钢筋混凝土板式楼梯的配筋构造；了解雨篷的组成、受力特点，掌握雨篷的构造规定。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
根据不同的建筑要求和使用条件选择合适的楼盖结构类型	楼盖的分类	10%
掌握单向板肋梁楼盖的配筋构造	现浇单向板肋梁楼盖	50%
掌握楼梯的配筋形式	钢筋混凝土楼梯的形成及构造	30%
掌握雨篷的构造要求	雨篷的受力特点及构造要求	10%

学习重点

现浇单向板楼盖及楼梯的构造要求。

引例

钢筋混凝土梁板结构是土木工程中应用最为广泛的一种结构，楼盖是建筑结构中的重要组成部分，在混合结构房屋中，楼盖的造价占房屋总造价的30%～40%，因此，楼盖结构造型和布置的合理性，以及结构计算和构造的正确性，对建筑物的安全使用和技术经济指标有着非常重要的意义。实例一的楼盖为钢筋混凝土装配式楼盖，如图9.1(a)所示，开间3.3m，在楼盖里有钢筋混凝土梁L1、L2等。实例二的楼盖为钢筋混凝土现浇楼盖，如图9.1(b)所示，柱距9m，梁间距3m。

两个楼盖各有何优缺点？楼盖为什么这么布置？梁、板内的钢筋如何放置？

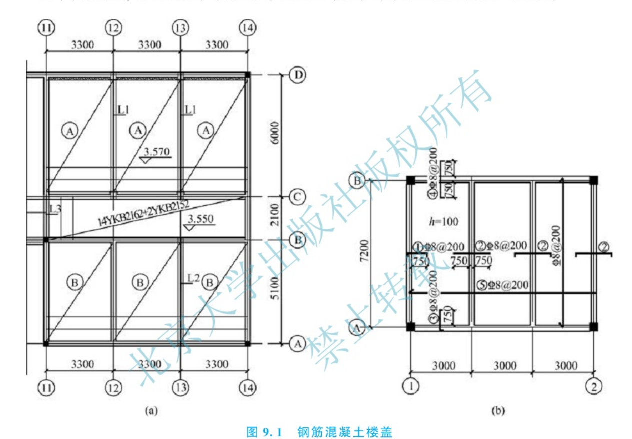


图 9.1 钢筋混凝土楼盖

(a) 实例一的钢筋混凝土装配式楼盖；(b) 实例二的钢筋混凝土现浇楼盖

9.1 钢筋混凝土楼盖的分类

钢筋混凝土楼盖按施工方法可分为现浇式、装配式和装配整体式三种形式。

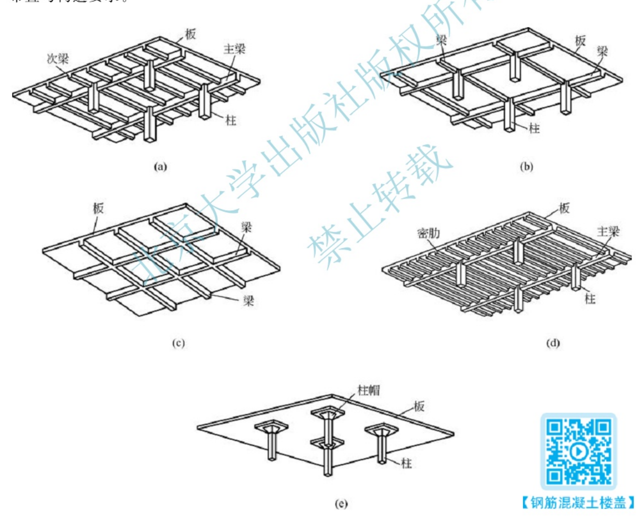
现浇式楼盖整体性好、刚度大、防水性好和抗震性强，并能适应房间的平面形状、设备管道、荷载或施工条件比较特殊的情况。其缺点是费工、费模板、工期长、施工受季节

的限制。整体现浇式楼盖结构按楼板受力和支承条件的不同，又分为肋梁楼盖、井式楼盖、密肋楼盖和无梁楼盖(图 9.2)。

装配式楼盖、楼板采用混凝土预制构件，便于工业化生产，在多层民用建筑和多层工业厂房中得到了广泛应用。但是，这种楼面由于整体性、防水性和抗震性较差，不便于开设孔洞，故对于高层建筑、有抗震设防要求以及使用上要求防水和开设孔洞的楼面，均不宜采用。

装配整体式楼盖整体性较装配式的好，又较现浇式的节省模板和支承。但这种楼盖需要进行混凝土的二次浇筑，有时还需增加焊接工作量，故对施工进度和造价都带来一些不利影响。因此，这种楼盖仅适用于荷载较大的多层工业厂房、高层民用建筑及有抗震设防要求的建筑。

在具体的实际工程中究竟采用何种楼盖形式，应根据房屋的性质、用途、平面尺寸、荷载大小、采光以及技术经济等因素进行综合考虑。本模块主要介绍现浇肋梁楼盖的结构布置与构造要求。



【钢筋混凝土楼盖】

图 9.2 楼盖的结构形式

(a)单向板肋梁楼盖；(b)双向板肋梁楼盖；(c)井式楼盖；(d)密肋楼盖；(e)无梁楼盖

9.2 现浇单向板肋梁楼盖

肋梁楼盖由板、次梁和主梁组成。其中板被梁划分成许多区格，每一区格的板一般是四边支承在梁或墙上。当板为单向板时，称为单向板肋梁楼盖；当板为双向板时，称为双向板肋梁楼盖。本节只介绍单向板肋梁楼盖。

9.2.1 结构平面布置

实际工程中的楼盖多采用现浇楼盖，并且视建筑、结构等方面来选择现浇楼盖的形式。现浇楼盖中以肋梁楼盖最常见。下面就以实例一砖混结构和实例二钢筋混凝土框架结构中的楼盖为例介绍肋梁楼盖中梁、板的布置。

1. 砖混结构中的肋梁楼盖

在砖混结构中，肋梁楼盖中板的支座为梁或墙体，两端直接支承在墙体上的梁称为主梁，支承在主梁的梁被称为次梁，主、次梁布置应符合下面的原则。

(1) 当房间规则且墙间距较小(开间或进深较小)时，可直接铺设现浇板；当房间规则但墙间距较大(开间或进深较大)时，应先根据建筑和结构的要求设置主梁、次梁，将平面划分成较小区格，然后再铺设现浇板；当房间不规则时，也应先设置主、次梁，将平面划分规则后再铺设现浇板。

(2) 如果肋梁楼盖选择单向板肋梁楼盖，那么次梁的间距决定了板的跨度，主梁的间距决定了次梁的跨度，柱距则决定了主梁的跨度。在进行结构平面布置时，应综合考虑建筑功能、造价及施工条件等，合理确定梁的平面布置。根据工程实践，单向板、次梁和主梁的常用跨度为：板的跨度一般为1.7～2.7m，荷载较大时取较小值，一般不宜超过3m；次梁的跨度一般为4～7m；主梁的跨度一般为5～8m。

2. 框架结构的肋梁楼盖

框架结构中，先沿定位轴线设置框架梁，然后再根据柱网尺寸、建筑功能、框架梁间距沿纵向或横向布置次梁(非框架梁)，布置次梁时要注意板的跨度，尽量使板、次梁和主梁在常用跨度范围内。

特别提示

框架-剪力墙结构、剪力墙结构等结构的楼盖布置可参考框架结构。

9.2.2 现浇单向板肋梁楼盖计算

现浇肋梁楼盖中的板、次梁与主梁大多是多跨连续板和多跨连续梁，下面就以单向板肋梁楼盖为例做简单介绍。

1. 计算简图

在现浇单向板肋梁楼盖中，板、次梁和主梁的计算模型一般为多跨连续板或连续梁。其中，板一般可视为以次梁和边墙(或梁)为铰支承的多跨连续板；次梁一般可视为以主梁和边墙(或梁)为铰支承的多跨连续梁；对于支承在混凝土柱上的主梁，其计算模型应根据梁柱线刚度比而定，当主梁与柱的线刚度比大于或等于3时，主梁可视为以柱和边墙(或梁)为铰支承的多跨连续梁，否则应按梁、柱刚接的框架模型(框架梁)计算主梁。

1) 受荷范围

当楼面承受均布荷载时，板所承受的荷载即为板带(b=1m)自重(包括面层及顶棚抹灰等)及板带上的均布活荷载。在确定板传递给次梁的荷载和次梁传递给主梁的荷载时，一般均忽略结构的连续性而按简支进行计算。所以对于次梁，取相邻跨中线所分割出来的面积作为它的受荷面积，次梁所承受的荷载为次梁自重及其受荷面积上板传来的荷载。对于主梁，则承受主梁自重及由次梁传来的集中荷载，但由于主梁自重与次梁传来的荷载相比往往较小，故为了简化计算，一般可将主梁均布自重简化为若干集中荷载，加上次梁传来的集中荷载合并计算。楼面受荷范围如图9.3所示。

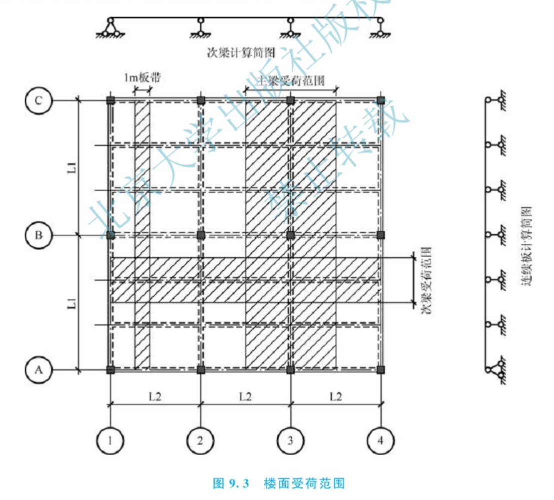


图9.3 楼面受荷范围

2) 跨数与计算跨度

当连续板、梁的某跨受到荷载作用时，它的相邻各跨也会受到影响，并产生变形和内力，但这种影响距该跨越远就越小，当超过两跨以上时，影响已很小。因此，对于多跨连续

板、梁(跨度相等或相差不超过10%)，若跨数超过5跨，可按5跨来计算。此时，除连续板、梁两边的第一和第二跨外，其余的中间跨度和中间支座的内力值均按5跨连续板、梁的中间跨度和中间支座采用。如果跨数未超过5跨，则计算时应按实际跨数考虑，如图9.4所示。

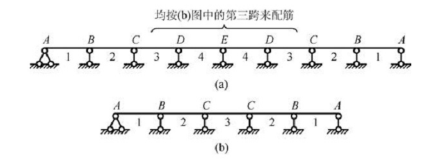


图9.4　连续梁、板的计算简图

(a)实际计算简图；(b)简化后计算简图

2. 计算等跨连续梁、板的内力

钢筋混凝土连续梁、板的内力计算方法有弹性计算方法和按塑性内力重分布计算方法。

按弹性计算方法，计算连续板、梁的内力时，将钢筋混凝土梁、板视为理想弹性体，以结构力学的一般方法来进行结构的内力计算。用弹性方法计算的结果，支座配筋量大，施工困难。

按塑性内力重分布来计算梁的内力时，是考虑钢筋混凝土材料实际上是一种弹塑性材料，在钢筋屈服后其塑性有较为明显的体现，此时连续梁的内力与荷载不再是线性关系，而是非线性的，连续梁的内力发生了重分布。考虑塑性内力重分布，可调整支座配筋，方便施工，同时，可发挥结构的潜力，有强度储备可利用，能提高结构的极限承载力，具有经济效益。

特别提示

从钢筋屈服到混凝土被压碎，构件截面不断绕中和轴转动，类似于一个铰，并且由于此铰是在截面发生明显的塑性形变后形成的，故称其为塑性铰。

(1) 塑性铰的存在条件是因截面上的弯矩达到塑性极限弯矩，并由此产生转动；当该截面上的弯矩小于塑性极限弯矩时，则不允许转动。因此，塑性铰可以传递一定的弯矩。

(2) 塑性铰的转动方向必须与塑性弯矩的方向一致，不允许向与塑性铰极限弯矩相反的方向转动，否则出现卸载使塑性铰消失，所以塑性铰为单向铰。

3. 板的配筋构造

1) 受力钢筋的配筋方式

由于板通常在跨中承受正弯矩而在支座处承受负弯矩，因此在板跨中需配底部受力钢筋，而在支座处往往配板面负筋，从而有两种配筋方式。

（1）分离式配筋：跨中正弯矩钢筋宜全部伸入支座锚固；而在支座处另配负弯矩钢筋，其范围应能覆盖负弯矩区域并满足锚固要求，如图 9.5 所示。由于施工方便，分离式配筋已成为工程中主要采用的配筋方式，如图 9.6 中所示实例二中连续单向板配筋图。

（2）弯起式配筋：将一部分跨中正弯矩钢筋在适当的位置(反弯点附近)弯起，并伸过支座后做负弯矩钢筋使用，由于施工比较麻烦，目前已很少应用。

2）支座负筋的截断

对承受均布荷载的等跨连续单向板或双向板，受力钢筋的弯起和截断的位置一般可按图 9.5 直接确定。

支座处的负弯矩钢筋，可在距支座边不小于 a 的距离处截断，其取值如下：

$$当\ q/g \leqslant 3\ 时，a = l_n/4；当\ q/g > 3\ 时，a = l_n/3$$

式中，g、q——恒荷载及活荷载设计值；

l_n——板的净跨度。

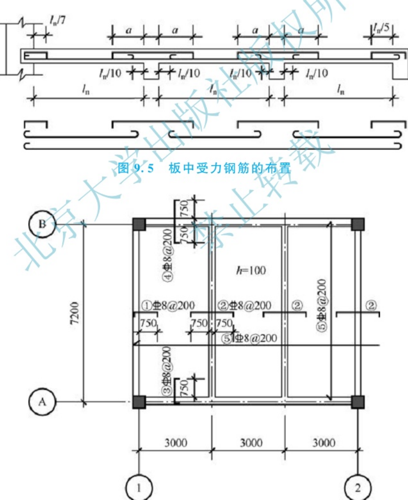


图 9.5 板中受力钢筋的布置

图 9.6 实例二中连续单向板的分离式配筋图

3）板的钢筋构造

肋梁楼盖中，板的钢筋构造应符合图 9.7 的要求。

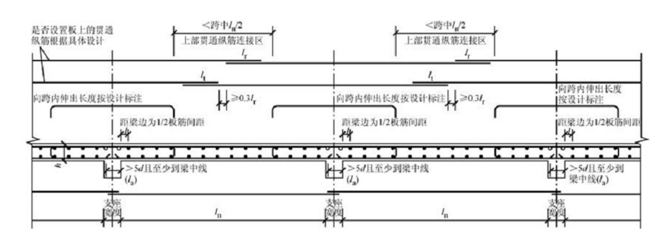


图 9.7 楼面板 LB 和屋面板 WB 钢筋构造

(括号内的锚固长度 l_a用于梁板式转换层的板)

注:(1) 当相邻等跨或不等跨的上部贯通纵筋配置不同时，应将配置较大者越过其标注的跨数终点或起点伸出至相邻跨的跨中连接区域连接。

(2) 除本图所示搭接连接外，板纵筋可采用机械连接或焊接连接。接头位置：上部钢筋见本图所示连接区，下部钢筋宜在距支座 1/4 净跨内。

(3) 图中板的中间支座均按梁绘制，当支座为混凝土剪力墙、砌体墙或圈梁时，其构造相同。

(4) 纵筋在端支座应伸至支座(梁、圈梁或剪力墙)外侧纵筋内侧后弯折，当直段长度≥ l_a时可不弯折。

4. 非框架梁计算中的注意事项

(1) 次梁的内力计算一般按塑性方法计算，主梁的内力计算一般按弹性方法计算。

(2) 梁按正截面受弯承载力确定纵向受拉钢筋时，通常跨中按 T 形截面计算，支座因翼缘位于受拉区，按矩形截面计算。

(3) 主梁支座截面的有效高度 h_0：在主梁支座处，由于板、次梁和主梁截面的上部纵向钢筋相互交叉重叠，如图 9.8 所示，且主梁负筋位于板和次梁的负筋之下，因此主梁支座截面的有效高度减小。在计算主梁支座截面纵筋时，截面有效高度 h_0可按如下方法取值。

当负弯矩钢筋为一排布置时：$h_0 = h-(50\sim60)\text{mm}$

当负弯矩钢筋为两排布置时：$h_0 = h-(70\sim80)\text{mm}$

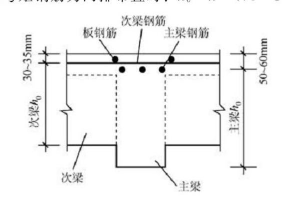


图 9.8 主梁支座处截面的有效高度

(4) 主梁附加横向钢筋：主梁和次梁相交处在主梁高度范围内受到次梁传来的集中荷载的作用，其腹部可能出现斜裂缝[图 9.9(a)]。因此，应在集中荷载影响区 s 范围内加设附加横向钢筋(箍筋、吊筋)以防止斜裂缝出现而引起局部破坏。位于梁下部或梁截面高度范围内的集中荷载，应全部由附加横向钢筋承担，并应布置在长度为 $s=2h_1+3b$ 的范围内。附加横向钢筋宜优先采用箍筋[图 9.9(b)]。当采用吊筋时，其弯起段应伸至梁上边缘，且末端水平段长度在受拉区不应小于 $20d$，在受压区不应小于 $10d$(d 为吊筋的直径)。

附加箍筋和吊筋的总截面面积按式(9-1)计算。

$$F\leqslant 2f_yA_{sb}\sin\alpha+mnf_{yv}A_{sv1} \tag{9-1}$$

式中，F——由次梁传递的集中力设计值；

f_y——附加吊筋的抗拉强度设计值；

f_{yv}——附加箍筋的抗拉强度设计值；

A_{sb}——附加吊筋的截面面积；

A_{sv1}——附加单肢箍筋的截面面积；

n——在同一截面内附加箍筋的根数；

m——附加箍筋的排数；

α——附加吊筋与梁轴线间的夹角，一般为 45°，当梁高 $h>800$mm 时，采用 60°。

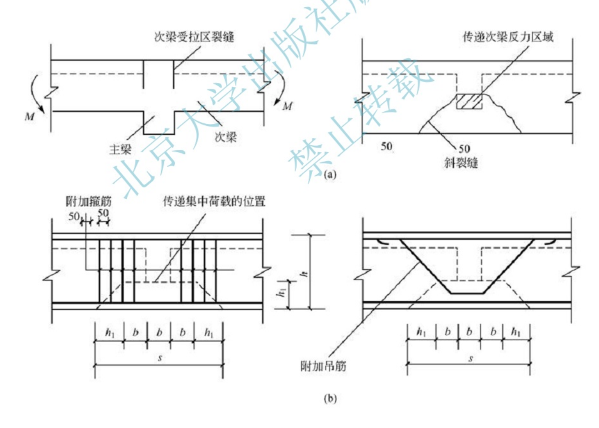
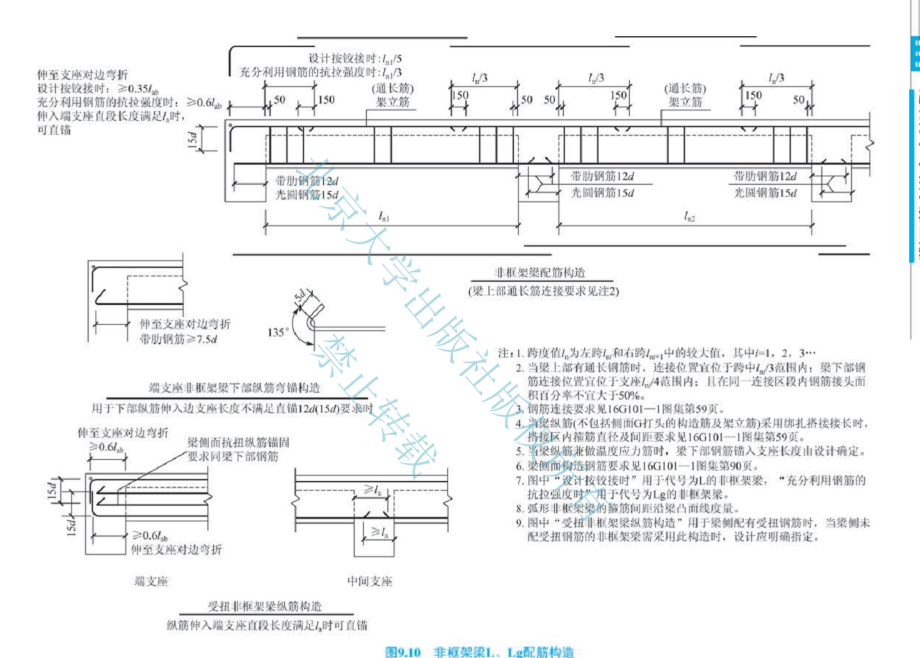


图 9.9 附加横向钢筋的布置

(a) 次梁和主梁相交处的裂缝情况；(b) 承受集中荷载处附加横向钢筋的布置

(5) 非框架梁 L 配筋构造(图 9.10)。



注：1. 跨度值l_n为左跨l_{ni}和右跨l_{ni+1}中的较大值，其中i=1，2，3…
2. 当梁上部有通长钢筋时，连接位置宜位于跨中l_{ni}/3范围内；梁下部钢筋连接位置宜位于支座l_{ni}/4范围内；且在同一连接区段内钢筋接头面积百分率不宜大于50%。
3. 钢筋连接要求见16G101—1图集第59页。
4. 当梁纵筋(不包括侧面G打头的构造筋及架立筋)采用绑扎搭接接长时，搭接区内箍筋直径及间距要求见16G101—1图集第59页。
5. 当梁纵筋兼做温度应力筋时，梁下部钢筋锚入支座长度由设计确定。
6. 梁侧面构造钢筋要求见16G101—1图集第90页。
7. 图中“设计按铰接时”用于代号为L的非框架梁，“充分利用钢筋的抗拉强度时”用于代号为Lg的非框架梁。
8. 弧形非框架梁的箍筋间距沿梁凸面线度量。
9. 图中“受扭非框架梁纵筋构造”用于梁侧配有受扭钢筋时，当梁侧未配受扭钢筋的非框架梁需采用此构造时，设计应明确指定。

图9.10 非框架梁L、Lg配筋构造

9.3 现浇双向板肋梁楼盖

引例

1. 工程与事故概况

某教学楼屋顶为井字梁楼盖，平面尺寸为10.8m×14.4m，梁断面尺寸为25cm×70cm，受力钢筋为3Φ22。浇灌完混凝土拆模后，发现离支座2.5m的部位出现了大量的裂缝，如图9.11所示。

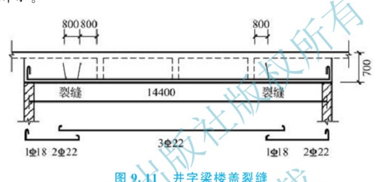


图9.11 井字梁楼盖裂缝

2. 原因分析

事故发生后，经过调查分析得知，事故是钢筋绑扎不当造成的。从设计图上看，受力钢筋为3Φ22的钢筋。施工中，由于Φ22钢筋没有长于10m的料，在离支座两端2.5m处，将受力钢筋在同一截面切断，并搭接焊上1Φ18、2Φ22，致使该焊接截面同时有6Φ18～Φ22的钢筋，钢筋间基本没有空隙。浇灌混凝土时无法保证钢筋周围的混凝土保护层，钢筋与混凝土间失去黏着力，钢筋的搭接失去作用，致使拆模后该梁在搭接部位严重开裂。

9.3.1 双向板的受力分析和试验研究

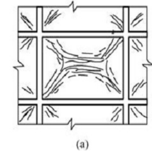
板在荷载作用下，沿两个正交方向受力且都不可忽略，则称其为双向板。双向板可以为四边支承、三边支承或两邻边支承板，但在肋梁楼盖中，其每一区格板的四边一般都有梁或墙支承，是四边支承板，板上的荷载主要通过板的受弯作用传到四边支承的构件上。

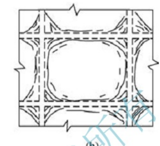
四边简支的钢筋混凝土双向板(方板和矩形板)在均布荷载作用下的试验表明：在裂缝出现之前，板基本上处于弹性工作阶段。双向板在弹性工作阶段，板的四角有翘起的趋势，若周边没有可靠固定，将产生如图9.12所示的犹如碗形的变形，板传给支座的压力沿边长不是均匀分布的，而是在每边的中心处达到最大值。因此，在双向板肋形楼盖中，板顶面实际会受墙或支承梁约束，破坏时就会出现如图9.13所示的板底面及板顶面裂缝。





图 9.12　双向板的变形





(a)　　(b)

图 9.13　肋形楼盖中双向板的裂缝分布

(a) 板底面裂缝分布；(b) 板顶面裂缝分布

9.3.2 双向板的截面设计与构造要求

双向板在两个方向的配筋都应按计算确定。考虑短跨方向的弯矩比长跨方向的大，因此应将短跨方向的跨中受拉钢筋放在长跨方向的外侧，以得到较大的截面有效高度。截面有效高度 h_0 通常分别取值为：短跨方向，$h_0=h-20$mm；长跨方向，$h_0=h-30$mm。

双向板的构造要求如下。

(1) 双向板的厚度。一般不宜小于 80mm，也不大于 160mm。为了保证板的刚度，板的厚度 h 还应符合：简支板，$h>l_x/45$；连续板 ，$h>l_x/50$，l_x是较小跨度。

(2) 钢筋的配置。受力钢筋沿纵横两个方向设置，此时应将弯矩较大方向的钢筋设置在外层，另一方向的钢筋设置在内层。

受力钢筋的直径、间距、截断点的位置等均可参照单向板配筋的有关规定。

应用案例 9-1

实例一中卫生间楼面现浇板短边尺寸为 3300mm，长边尺寸为 6000mm，长边与短边之比为 1.82≤2，且四边支承在墙上，故为单跨双向板。屋面卫生间与楼梯间一起现浇，为双跨双向板。板下部两个方向的钢筋都是受力钢筋，短向钢筋①放在长向钢筋②的外侧。板上部沿墙体设置的钢筋是构造钢筋，长度是 $l_x/4$(l_x为较小跨度)=3300mm/4，取 800mm(图 9.14)。

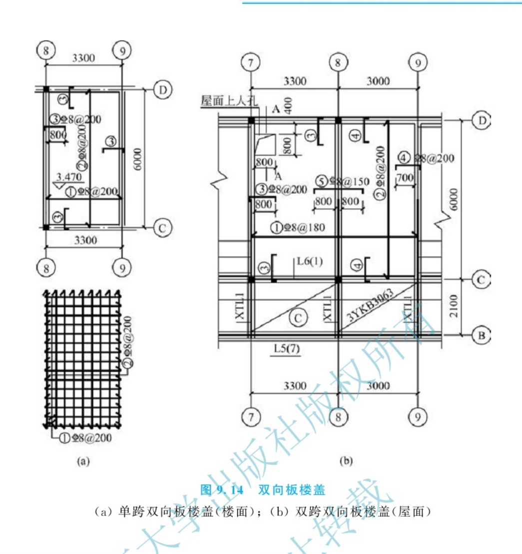


图 9.14　双向板楼盖

(a) 单跨双向板楼盖(楼面)；(b) 双跨双向板楼盖(屋面)

9.4　装配式混凝土楼盖

装配式混凝土楼盖主要由搁置在承重墙或梁上的预制混凝土铺板组成，故又称为装配式铺板楼盖。设计装配式楼盖时，一方面应注意合理地进行楼盖结构布置和预制构件选型，另一方面要处理好预制构件间的连接以及预制构件和墙(柱)的连接。

常用的预制铺板有实心板、空心板、槽形板、T 形板等，其中以空心板的应用最为广泛。我国各地区或省一般均有自编的标准图，其他铺板大多数也编有标准图。随着建筑业的发展，预制的大型楼板(平板式或双向肋形板)也日益增多。

1. 实心板

实心板[图 9.15(a)]上下表面平整、制作简单，但材料用量较多，适用于荷载及跨度较小的走道板、管沟盖板、楼梯平台板等。

常用板长 $l=1.8\sim2.4$m，板厚 $h\geqslant l/30$，常用厚度为 50～100mm；板宽 $B=500\sim1000$mm。

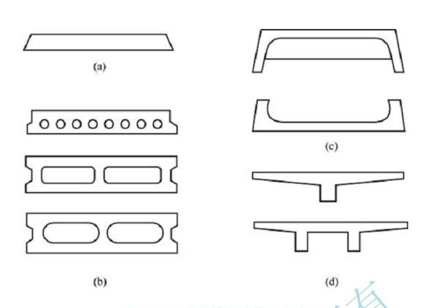


图 9.15　预制铺板的截面形式

(a)实心板；(b)空心板；(c)槽形板；(d)T形板

2. 空心板

空心板自重比实心板轻，可取截面高度较实心板大，故其刚度较大，隔声、隔热效果亦较好，其顶棚或楼面均较槽形板易于处理，因而在装配式楼盖中应用甚为广泛。空心板的缺点是板面不能任意开洞，自重也较槽形板大。

空心板截面的孔型有圆形、方形、矩形或长圆形[图 9.15(b)]，视截面尺寸及抽芯设备而定；孔数视板宽而定。扩大和增加孔洞对节约混凝土、减轻自重和隔声有利，但若孔洞过大，其板面需按计算配筋时反而不经济，此外，大孔洞板在抽芯时易造成尚未结硬的混凝土坍落。为避免空心板端部压坏，在板端应塞混凝土堵头。

空心板截面高度可取为跨度的 1/25～1/20(普通钢筋混凝土)或 1/35～1/30(预应力混凝土)，其取值宜符合砖的模数，通常有 120mm、180mm、240mm 几种。空心板的宽度主要根据当地制作、运输和吊装设备的具体条件而定，常用 500mm、600mm、900mm、1200mm 等。

3. 槽形板

槽形板有肋向下(正槽板)和肋向上(倒槽板)两种[图 9.15(c)]。正槽板可以较充分地利用板面混凝土抗压，但不能直接形成平整的天棚，倒槽板则反之。槽形板较空心板轻，但隔声、隔热性能较差。

槽形板由于开洞较自由、承载能力较大，故在工业建筑中采用较多。此外，也可用在对天花板要求不高的民用建筑屋盖和楼面结构中。

4. T 形板

T 形板有单 T 板和双 T 板两种[图 9.15(d)]。这类板受力性能良好、布置灵活，能跨越较大的空间，且开洞也较自由，但整体刚度不如其他类型的板。双 T 板比单 T 板有较好的整体刚度，但自重较大，对吊装能力要求较高。T 形板适用于板跨在 12m 以内的楼面和屋盖结构。T 形板的翼缘宽度为 1500～2100mm，截面高度为 300～500mm，视其跨度大小而定。

应用案例 9-2

图 9.16 是实例一楼面预应力空心板布置示例，在Ⓒ～Ⓓ轴间铺设 10YKB3352，表明板的跨度是 3300mm，房间进深 6000mm，减去Ⓓ轴、Ⓒ轴墙厚各 240mm、壁柱各 130mm，净尺寸还有 5260mm，故选择 10 块 500mm 宽的空心板，总尺寸 5000mm <5260mm。

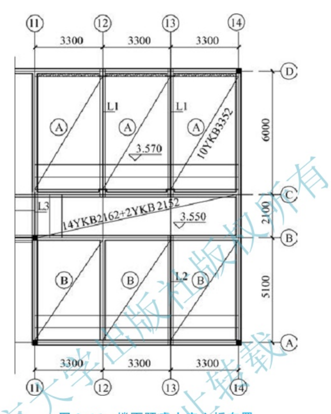


图 9.16 楼面预应力空心板布置

思考：如何对Ⓐ～Ⓑ轴、Ⓑ～Ⓒ轴预应力空心板的布置进行选取？

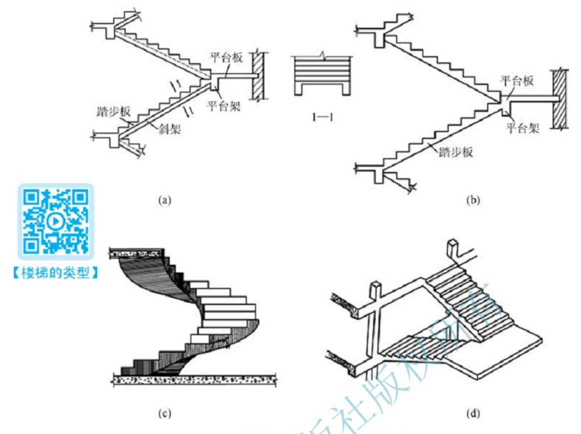
9.5 钢筋混凝土楼梯的结构形式及构造

9.5.1 楼梯的类型



【楼梯的类型】

楼梯是多层、高层房屋的竖向通道，由梯段和休息平台组成。为了满足承重和防火要求，通常采用钢筋混凝土楼梯，在地震作用时楼梯还是重要的抗侧力构件和人员疏散通道。楼梯的形式，按照平面布置形式可分为单跑式、双跑式、三跑式楼梯；按施工方法可分为整体式和装配式楼梯；按结构形式可分为梁式[图 9.17(a)]、板式[图 9.17(b)]、螺旋式[图 9.17(c)]、剪刀式楼梯[图 9.17(d)]。



【楼梯的类型】

图 9.17 各种形式楼梯示意

楼梯结构形式的选择，应考虑楼梯的使用要求、材料供应、施工方法等因素，本着安全、适用、经济、美观的原则确定。一般当楼梯使用荷载不大，且水平投影长度小于 3m 时，采用板式楼梯；当使用荷载较大，且水平投影长度大于 3m 时，采用梁式楼梯较为经济。

楼梯的结构设计包括以下内容。

(1) 根据建筑要求和施工条件，确定楼梯的结构形式和结构布置。

(2) 确定计算荷载，楼梯荷载包括恒荷载(自重)和活荷载。楼梯活荷载可根据建筑类别，查附录 C 表 C2 确定其标准值。

(3) 进行楼梯各部件的内力计算和截面设计。

(4) 绘制施工图，特别应注意处理好连接部位的配筋构造。

9.5.2 现浇钢筋混凝土板式楼梯

板式楼梯由梯段板、平台板和平台梁组成[图 9.17(b)]。梯段是斜放的齿形板，支承在平台梁上和楼层梁上，底层下端一般支承在地垄墙上。板式楼梯的优点是下表面平整，施工支模较方便，外观比较轻巧。其缺点是梯段斜板较厚，为梯段板斜长的 1/30～1/25，其混凝土用量和钢材用量都较多。

板式楼梯的包括梯段斜板、平台板、平台梁等构件。

1. 梯段斜板

为保证梯段板具有一定的刚度，梯段板的厚度常取 80～120mm。

梯段板支承在平台梁及楼层梁上(底层下端支承在地垄墙上)，一般取 1m 宽板带为计

算单元，在进行内力计算时，可简化为两端简支的斜板进行计算。当斜板支承在平台梁和砖墙上时，嵌固作用差，可按$\frac{1}{8}(g+q)l_0^2$近似计算跨中弯矩；当考虑平台梁及楼层梁对斜板的部分嵌固作用时，跨中弯矩可按$\frac{1}{10}(g+q)l_0^2$近似计算。

斜板的受力钢筋沿斜向布置，支座处板的上部应设置负钢筋，配筋常用分离式，分布钢筋与受力钢筋相垂直，且每个踏步范围内必须有一根，且直径≥8mm，如图 9.18 所示。

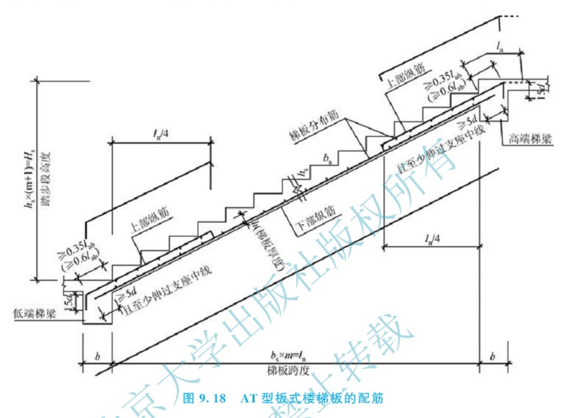


图 9.18　AT 型板式楼梯板的配筋

2. 平台板

平台板的厚度 $h=l_0/35$(l_0为平台板的计算跨度)，常取为 60～100mm；平台板一般均取 1m 宽板带作为计算单元。

平台板与平台梁或过梁相交处，考虑到支座处有负弯矩作用，应配置承受负弯矩的钢筋，如图 9.19 所示。当平台板的跨度远比梯段板的水平跨度小时，平台板中可能出现负弯矩的情况，此时板中负弯矩钢筋应通跨布置。

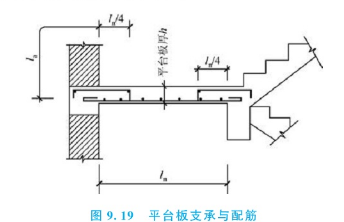


图 9.19　平台板支承与配筋

特别提示

图集16G101—2中对部分类型的板式楼梯梯段板的上部纵筋实现了贯通设置，并在有条件时可直接伸入平台板内锚固，从支座内边算起总锚固长度不小于l_a。

3. 平台梁

板式楼梯的平台梁，承受本身自重、平台板传来的均布荷载和斜板的均布荷载，当上下梯段等长，又忽略上下梯段斜板之间的空隙时，可按荷载满布于全跨的简支承梁计算。考虑平台梁两侧荷载不一致将引起扭矩，宜适当增加梁内的箍筋用量。

【工程实例】

某砖混结构二层住宅中使用了现浇钢筋混凝土板式楼梯，如图9.20所示为其楼梯各部位的钢筋施工现场。







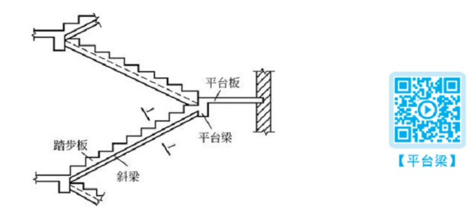
图9.20　板式楼梯的工程实例

9.5.3 梁式楼梯

梁式楼梯由踏步板、斜梁、平台板和平台梁组成(图9.21)。

1. 踏步板

踏步板按两端简支在斜梁上的单向板考虑，计算时一般取一个踏步作为计算单元，踏步板为梯形截面，板的计算高度可近似取平均高度$h=(h_1+h_2)/2$(图9.22)，板厚一般不



【平台梁】

图 9.21　梁式楼梯的组成

小于 30～40mm，每一踏步一般需配置不少于 2Φ6 的受力钢筋，沿斜向布置间距不大于 300mm 的Φ6 分布钢筋。

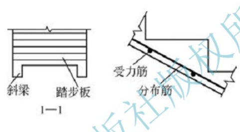


图 9.22　踏步板

2. 斜梁

斜梁的内力计算特点与梯段斜板相同。踏步板可能位于斜梁截面高度的上部，也可能位于下部，计算时可近似取为矩形截面。图 9.23 所示为斜梁的配筋构造图。

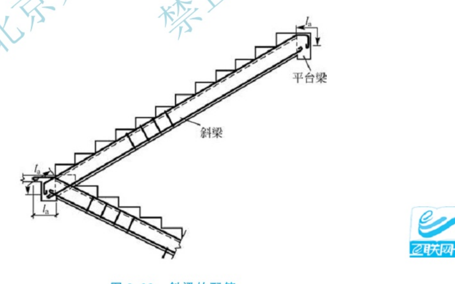


图 9.23　斜梁的配筋

3. 平台梁

平台梁主要承受斜边梁传来的集中荷载(由上、下楼梯斜梁传来)和平台板传来的均布荷载，一般按简支梁计算。

特别提示

当楼梯下净高不够时，可将楼层梁向内移动，这样板式楼梯的梯段就成为折线形。对此设计中应注意两个问题：①梯段中的水平段，其板厚应与梯段相同，不能处理成和平台板同厚；②折角处的下部受拉纵筋不允许沿板底弯折[图 9.24(a)]，以免产生向外的合力，将该处的混凝土崩脱，应将此处纵筋断开，各自延伸至上面再行锚固。若板的弯折位置靠近楼层梁，板内可能出现负弯矩，则板上面还应配置承担负弯矩的短钢筋[图 9.24(b)]。

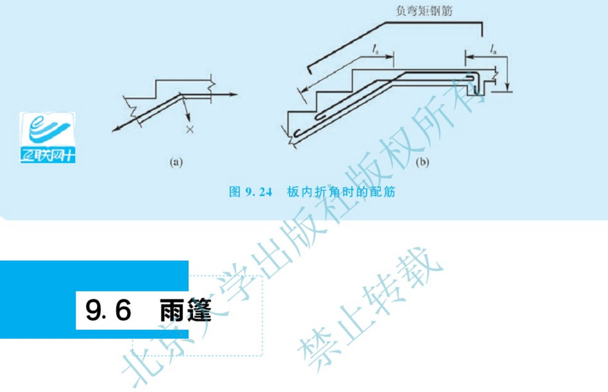


图 9.24 板内折角时的配筋

9.6 雨篷

引例

某百货大楼一层橱窗上设置有挑出 1200mm 的通长现浇钢筋混凝土雨篷，如图 9.25(a)所示。待到达混凝土设计强度拆模时，突然发生从雨篷根部折断的质量事故，呈门帘状，如图 9.25(b)所示。

事故是由受力筋放错了位置(离模板只有 20mm)所致。原本受力筋按设计布置，钢筋工绑扎好后就离开了。打混凝土前，一些“好心人”看到雨篷钢筋浮搁在过梁箍筋上，受力筋又放在雨篷顶部(传统的概念总以为受力筋就放在构件底面)，就将受力筋临时改放到过梁的箍筋里面，并贴着模板。打混凝土时，现场人员没有对受力筋位置进行检查，于是发生了上述事故。

雨篷、外阳台、挑檐是建筑工程中常见的悬挑构件，它们除设计与一般梁板结构相似外，还存在倾覆翻倒的危险，因此应进行抗倾覆验算。

板式雨篷一般由雨篷板和雨篷梁两部分组成(图 9.26)。雨篷梁既是雨篷板的支承，又兼有过梁的作用。

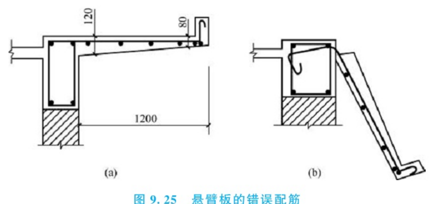


图 9.25　悬臂板的错误配筋

(a)设计图；(b)事故图

一般雨篷板的挑出长度为 0.6～1.2m 或更大，视建筑要求而定。现浇雨篷板多数做成变厚度的，一般取根部板厚为 1/12 挑出长度，但不小于 70mm，板端不小于 50mm。雨篷板周围往往设置凸沿以便能有组织地排泄雨水。雨篷梁的宽度一般取与墙厚相同，梁的高度应按承载能力要求确定。梁两端伸进砌体的长度应考虑雨篷抗倾覆的因素确定。雨篷计算包括三方面内容：①雨篷板的正截面承载力计算；②雨篷梁在弯矩、剪力、扭矩共同作用下的承载力计算；③雨篷抗倾覆验算。

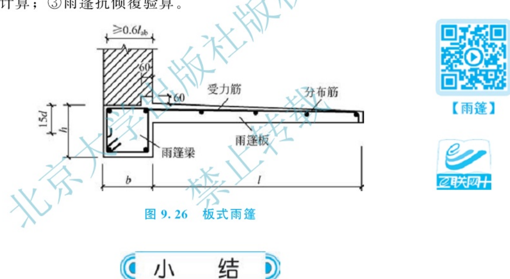


图 9.26　板式雨篷

小　结

(1) 楼盖结构包括现浇单向板肋形楼盖、双向板肋形楼盖、井式楼盖、无梁楼盖、装配式楼盖等，应根据不同的建筑要求和使用条件选择合适的结构类型。

(2) 楼面、屋盖、楼梯等梁板结构设计的步骤是：①结构选型、结构布置及构件截面尺寸确定；②结构计算[包括确定计算简图(计算跨度和支承简图)、计算荷载、内力分析、内力组合及截面配筋计算等]；③绘制结构施工图(包括结构布置及配筋图)。上述步骤不仅适用于梁板结构，也适用于其他结构设计。

(3) 在现浇肋形楼盖中，当板长边与短边之比大于 3 时，弹性弯曲变形和内力主要发生在短跨方向；而长跨方向的内力很小，故不必另行计算，按构造要求配置钢筋即可。当板的长边与短边之比小于或等于 2 时，板在荷载作用下，沿两个方向正交受

力且都不可忽略，则称其为双向板。双向板需分别按计算确定长边与短边方向的内力及配筋。

(4) 装配式混凝土楼盖主要由搁置在承重墙或梁上的预制混凝土铺板组成，故又称为装配式铺板楼盖。装配式楼盖主要有铺板式、密肋式和无梁式等，其中铺板式应用最广。铺板式楼盖的主要构件是预制板和预制梁。

(5) 现浇钢筋混凝土楼梯按受力方式的不同分为梁式楼梯和板式楼梯等。梁式楼梯和板式楼梯的主要区别在于楼梯梯段是采用梁承重还是板承重。前者受力较合理，用材较省，但施工较烦琐且欠美观，宜用于梯段较长的楼梯；后者反之。



简答题

1. 钢筋混凝土楼盖结构有哪几种主要类型？分别说出它们各自的优缺点和适用范围。
2. 单向板和双向板的受力特点如何？
3. 现浇单向板肋形楼盖中的板、次梁和主梁，当按塑性理论计算时，其计算简图如何确定？
4. 现浇单向板肋形楼盖板、次梁和主梁的配筋计算和构造有哪些？
5. 现浇钢筋混凝土楼梯按受力分为哪两种形式？比较其受力特点的异同。
6. 雨篷的受力特点是什么？

模块10 砌体结构墙、柱

教学目标

通过本模块的学习，掌握砌体的材料及种类；了解砌体结构房屋的静力计算方案；掌握砌体结构墙、柱设计及构造要求。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
掌握砌体的材料及种类	砌体材料、砌体的种类及力学性能	20%
能正确理解平面布置及计算方案	结构布置方案，结构的静力计算方案	15%
在实际工程中理解和运用受压构件承载力计算的能力	受压承载力，局部受压	20%
墙、柱高厚比验算的能力	墙、柱高厚比验算	15%
正确理解砌体房屋构造要求的能力	墙、柱的一般构造要求	30%

学习重点

砌体的材料、砌体的种类；多层砌体房屋的抗震要求。

引例

1. 工程与事故概况

某市居民搬迁的安置房，总建筑面积近 2.5 万平方米，将安置 300 多户居民。主体工程于 2011 年 3 月动工，到 5 月底 8 栋楼房全部封顶。而此时，业主们发现，安置房的墙体砖块严重起皮、爆裂。用手一摸墙体，砖块就大量碎裂、脱落；拿起砖，轻轻一掰就断为两半，用脚一踢，便成了一堆碎煤渣。

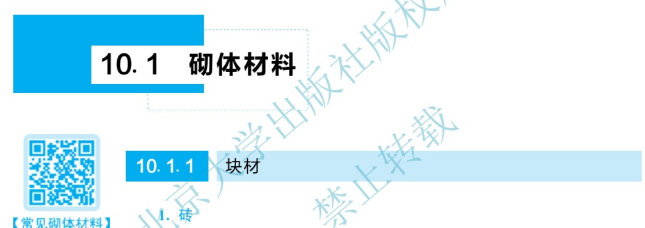

【引例】

检测结果表明：该楼二至五层墙体所用的煤矸石烧结多孔砖出现大面积爆裂，墙体砖爆裂深度大，部分砖已失去强度，存在严重安全隐患；二、三、四层墙体爆裂面积达到 90%以上，并严重影响工程的主体结构安全。

问题处理：8 栋安置房全部拆除。

2. 事故原因分析

本工程调查结果显示，该事故主要是材料本身的质量问题。主要原因是使用了不合格的煤矸石烧结多孔砖，这批煤矸石多孔砖中氧化钙含量超标。



10.1 砌体材料

【常见砌体材料】

10.1.1 块材

1. 砖

砌体结构常用的砖有烧结砖、蒸压砖和混凝土砖。

(1) 烧结砖又分为：烧结普通砖，是指实心砖或孔洞率小于 15%的砖；烧结多孔砖，是指孔洞率不小于 15%的砖。

(2) 蒸压砖有蒸压灰砂砖和蒸压粉煤灰砖。

普通砖和蒸压砖具有全国统一的规格，其尺寸为 240mm×115mm×53mm。多孔砖的主要规格有 190mm×190mm×90mm、240mm×115mm×90mm、240mm×180mm×115mm 等。各种砖的主要规格如图 10.1 所示。

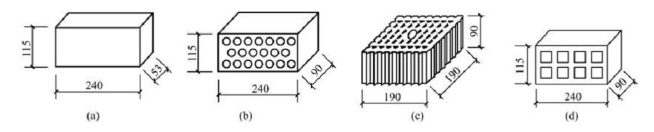


图 10.1 砖的规格

(a)烧结普通砖；(b)P 型多孔砖；(c)M 型多孔砖；(d)混凝土多孔砖

烧结普通砖和烧结多孔砖的强度等级划分为 MU30、MU25、MU20、MU15 和 MU10 五级，其中 MU 表示砌体中的块体，其后数字表示块体的抗压强度值，单位为 MPa。蒸压砖的强度等级有 MU25、MU20 和 MU15 三级。

（3）混凝土砖有混凝土普通砖和多孔砖。其强度等级有 MU30、MU25、MU20、MU15 四个等级。

2. 砌块

砌块一般指混凝土空心砌块、加气混凝土砌块及硅酸盐实心砌块。此外，还有以黏土、煤矸石等为原料，经焙烧而制成的烧结空心砌块。砌块按尺寸大小可分为小型、中型和大型三种，我国通常把砌块高度为 180～390mm 的称为小型砌块，高度为 390～900mm 的称为中型砌块，高度大于 900mm 的称为大型砌块。几种砌块材料如图 10.2 所示。

混凝土小型空心砌块的强度等级为 MU20、MU15、MU10、MU7.5 和 MU5 五个等级。

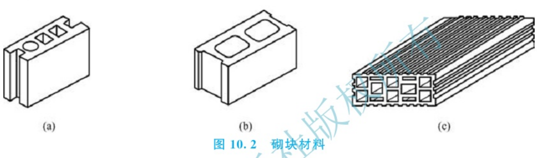


图 10.2 砌块材料

(a)混凝土中型空心砌块；(b)混凝土小型空心砌块；(c)烧结空心砌块

3. 石材

石材主要来源于重质岩石和轻质岩石。天然石材分为料石和毛石两种。料石按其加工后外形的规则程度又分为细料石、半细料石、粗料石和毛料石。石材的强度等级分为 MU100、MU80、MU60、MU50、MU40、MU30 和 MU20 七级。

10.1.2 砌筑砂浆

砂浆是由胶凝材料(石灰、水泥)和细骨料(砂)加水搅拌而成的混合材料。

砂浆的作用是将砌体中的单个块体连成整体，并抹平块体表面，从而促使其表面均匀受力，同时填满块体间的缝隙，减少砌体的透气性，提高砌体的保温性能和抗冻性能。

1. 砂浆的分类

砂浆有水泥砂浆、混合砂浆、非水泥砂浆和混凝土砖与砌块专用砌筑砖浆四种类型。

（1）水泥砂浆。水泥砂浆是由水泥、砂子和水搅拌而成，其强度高，耐久性好，但和易性差，一般用于对强度有较高要求的砌体中。

（2）混合砂浆。混合砂浆是在水泥砂浆中掺入适量的塑化剂，如水泥石灰砂浆、水泥黏土砂浆等。这种砂浆具有一定的强度和耐久性，且和易性和保水性较好，是一般墙体中常用的砂浆类型。

（3）非水泥砂浆。非水泥砂浆有石灰砂浆、黏土砂浆和石膏砂浆。这类砂浆强度不高，有些耐久性也不够好，故只能用在受力小的砌体或简易建筑、临时性建筑中。

（4）混凝土砖与砌块专用砌筑砂浆。

2. 砂浆的强度等级

砂浆的强度等级是由边长为70.7mm的立方体标准试块的抗压强度确定的。砌筑砂浆的强度等级分为M15、M10、M7.5、M5和M2.5。其中M表示砂浆，其后数字表示砂浆的强度大小(单位为MPa)。混凝土砖与小型空心砌块专用砌筑砂浆的强度等级用Mb标记，以区别于其他砌筑砂浆，其强度等级有Mb20、Mb15、Mb10、Mb7.5和Mb5。蒸压砖采用的专用砂浆其等级分为Ms15、Ms10、Ms7.5和Ms5。

3. 砂浆的性能要求

为满足工程质量和施工要求，砂浆除应具有足够的强度外，还应有较好的和易性和保水性。和易性好，则便于砌筑、保证砌筑质量和提高施工工效；保水性好，则不致在存放、运输过程中出现明显的泌水、分层和离析，以保证砌筑质量。水泥砂浆的和易性和保水性不如混合砂浆好，在砌筑墙体、柱时，除有防水要求外，一般采用混合砂浆。

10.2 砌体的种类及力学性能

10.2.1 砌体的种类

砌体按照所用材料不同可分为砖砌体、砌块砌体及石砌体；按砌体中有无配筋可分为无筋砌体与配筋砌体；按实心与否可分为实心砌体与空斗砌体；按在结构中所起的作用不同可分为承重砌体与自承重砌体等。

1. 砖砌体



【砖墙及砖柱的砌筑】

由砖和砂浆砌筑而成的整体材料称为砖砌体。在房屋建筑中，砖砌体常用作一般单层和多层工业与民用建筑的内外墙、柱、基础等承重结构，以及多高层建筑的围护墙与隔墙等自承重结构等。标准砌筑的实心墙体厚度常为240mm(一砖)、370mm(一砖半)、490mm(二砖)、620mm(二砖半)、740mm(三砖)等。有时为节省材料，墙厚可不按半砖长而按1/4砖长的倍数设计，即砌筑成所需的180mm、300mm、420mm等厚度的墙体。

2. 砌块砌体

由砌块和砂浆砌筑而成的整体材料称为砌块砌体。目前国内外常用的砌块砌体以混凝土空心砌块砌体为主，其中包括以普通混凝土为块体材料的普通混凝土空心砌块砌体和以轻骨料混凝土为块体材料的轻骨料混凝土空心砌块砌体。

3. 石砌体

由天然石材和砂浆砌筑而成的整体材料称为石砌体。

4. 配筋砌体

为提高砌体强度、减少其截面尺寸、增加砌体结构(或构件)的整体性，可在砌体中配置钢筋或钢筋混凝土，即采用配筋砌体。配筋砌体可分为配筋砖砌体和配筋砌块砌体。

10.2.2 砌体的力学性能

1. 砌体的受压性能

砌体的受压破坏特征试验研究表明，砌体轴心受压从加载直到破坏，按照裂缝的出现、发展和最终破坏，大致经历以下三个阶段。

第一阶段：从砌体受压开始，当压力增大至50%～70%的破坏荷载时，砌体内出现第一条(批)裂缝。对于砖砌体，在此阶段，单块砖内产生细小裂缝，且多数情况下裂缝约有数条，但一般均不穿过砂浆层，如果不再增加压力，单块砖内的裂缝也不继续发展，如图10.3(a)所示。对于混凝土小型空心砌块，在此阶段，砌体内通常只产生一条细小裂缝，但裂缝往往在单个块体的高度内贯通。

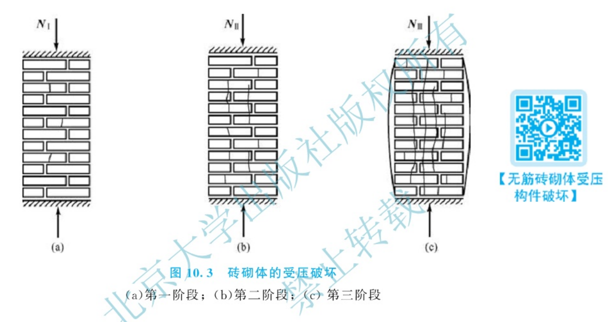


图10.3　砖砌体的受压破坏

(a)第一阶段；(b)第二阶段；(c) 第三阶段

第二阶段：随着荷载的增加，当压力增大至80%～90%的破坏荷载时，单个块体内的裂缝将不断发展，裂缝沿着竖向灰缝通过若干皮砖或砌块，并逐渐在砌体内连接成一段段较连续的裂缝。此时荷载即使不再增加，裂缝仍会继续发展，砌体已临近破坏，在工程实践中可视为处于十分危险的状态，如图10.3(b)所示。

第三阶段：随着荷载的继续增加，则砌体中的裂缝迅速延伸、宽度扩展，连续的竖向贯通裂缝把砌体分割形成小柱体，砌体个别块体材料可能被压碎或小柱体失稳，从而导致整个砌体的破坏，如图10.3(c)所示。

2. 影响砌体抗压强度的因素

1）块体与砂浆的强度等级

一般来说，强度等级高的块体的抗弯、抗拉强度也较高，因而相应砌体的抗压强度也高，但并不与块体强度等级的提高成正比；而砂浆的强度等级越高，砂浆的横向变形越小，砌体的抗压强度也有所提高。

2）块体的尺寸与形状

高度大的块体，其抗弯、抗剪及抗拉能力增大；块体长度较大时，块体在砌体中引起

的弯、剪应力也较大。因此砌体强度随块体厚度的增大而加大，随块体长度的增大而降低；而块体的形状越规则，表面越平整，砌体的抗压强度越高。

3）砂浆的流动性、保水性及弹性模量的影响

砂浆的流动性大与保水性好时，容易铺成厚度和密实性较均匀的灰缝，因而可减少单块砖内的弯、剪应力而提高砌体强度。纯水泥砂浆的流动性较差，所以同一强度等级的混合砂浆砌筑的砌体强度要比相应纯水泥砂浆砌体高；砂浆的弹性模量越大，相应砌体的抗压强度越高。

4）砌筑质量

砌筑质量是指砌体的砌筑方式、灰缝砂浆的饱满度、砂浆层的铺砌厚度等。砌筑质量与工人的技术水平有关，砌筑质量不同，砌体强度则不同。水平灰缝饱满度应不低于85%，水平灰缝厚度一般为8～12mm。

3. 砌体的受拉、受弯和受剪性能

在实际工程中，因砌体具有良好的抗压性能，故多将砌体用作承受压力的墙、柱等构件。与砌体的抗压强度相比，砌体的轴心抗拉、弯曲抗拉及抗剪强度都低很多。但有时也用它来承受轴心拉力、弯矩和剪力，如砖砌的圆形水池、承受土壤侧压力的挡土墙以及拱或砖过梁支座处承受水平推力的砌体等。

1）砌体的受拉性能

砌体轴心受拉时，依据拉力作用于砌体的方向，有三种破坏形态。当轴心拉力与砌体水平灰缝平行时，砌体可能沿灰缝Ⅰ—Ⅰ齿状截面(或阶梯形截面)破坏，即为砌体沿齿状灰缝截面的轴心受拉破坏，如图10.4(a)所示。在同样的拉力作用下，砌体也可能沿块体和竖向灰缝Ⅱ—Ⅱ较为整齐的截面破坏，即为砌体沿块体(及灰缝)截面的轴心受拉破坏，如图10.4(a)所示。当轴心拉力与砌体的水平灰缝垂直时，砌体可能沿Ⅲ—Ⅲ通缝截面破坏，即为砌体沿水平通缝截面的轴心受拉破坏，如图10.4(b)所示。

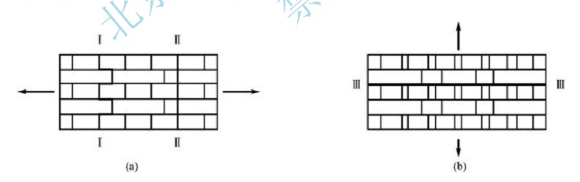


图10.4 砌体轴心受拉破坏形态

砌体的抗拉强度主要取决于块材与砂浆连接面的黏结强度。由于块材和砂浆的黏结强度主要取决于砂浆强度等级，所以砌体的轴心抗拉强度可由砂浆的强度等级来确定。

2）砌体的受弯性能

砌体结构弯曲受拉时，按其弯曲拉应力使砌体截面破坏的特征，同样存在三种破坏形态，即可分为沿齿缝截面受弯破坏、沿块体与竖向灰缝截面受弯破坏及沿通缝截面受弯破坏三种形态。沿齿缝和通缝截面的受弯破坏与砂浆的强度有关。

3）砌体的受剪性能

砌体在剪力作用下的破坏均为沿灰缝的破坏，故单纯受剪时砌体的抗剪强度主要取决于水平灰缝中砂浆及砂浆与块体的黏结强度。

10.3 砌体结构墙、柱概述

引例

1. 工程与事故概况

某学校的教学楼，为二层砖混结构，工程已接近完工，在室内进行抹灰粉刷时突然倒塌，造成多人死亡。

教学楼基础为水泥砂浆砌筑的毛石基础，墙厚180mm，端部大教室中间深梁为现浇钢筋混凝土梁。3个月后拆除大梁底部支承及模板，开始装修时发现墙体有较大变形，工人用锤子将凸出的墙体打了回去，继续施工。第3天发现大教室的窗墙在窗台下约100mm处有一条很宽的水平裂缝，宽约20mm，导致整个房屋全部倒塌，两层楼板叠压在一起。未及时撤离的工人全部死亡。

2. 事故原因分析

本工程并无正式设计图纸，只是由使用单位直接委托某施工单位建造。根据现场情况，参照一般砖混结构画了几张草图就进行施工。施工队伍由乡村瓦木匠组成，没有技术管理体制。事故发生后测定，砖的等级为MU0.5，砂浆强度只有M0.4，在拆模的第2天发现险情后还不采取应急措施，才导致重大事故的发生。

10.3.1 混合结构房屋的结构布置方案

多层混合结构房屋的主要承重结构为屋盖、楼盖、墙体(柱)和基础，其中墙体的布置是整个房屋结构布置的重要环节。墙体的布置与房屋的使用功能和房间的面积有关，而且影响建筑物的整体刚度。房屋的结构布置可分为三种方案，如图10.5所示。

1. 横墙承重体系

屋面板及楼板沿房屋的纵向放置在横墙上，形成了纵墙起围护作用、横墙起承重作用的结构方案。由于横墙的数量较多且间距小，同时横墙与纵墙间有可靠的拉结，因此，房屋的整体性好，空间刚度大，对抵抗作用在房屋上的风荷载及地震作用等水平荷载十分有利。

横墙承重体系竖向荷载主要传递路线是：板→横墙→基础→地基。

横墙承重体系由于横墙间距小，房间大小固定，故适用于宿舍、住宅等居住建筑。

2. 纵墙承重体系

纵墙承重体系竖向荷载主要传递路线是：板→纵墙→基础→地基或板→梁→纵墙→基础→地基。

纵墙承重体系适用于使用上要求有较大室内空间的房屋，或室内隔断墙位置有灵活变动要求的房屋，如教学楼、办公楼、图书馆、实验楼、食堂、中小型工业厂房等。

3. 纵横墙承重体系

当建筑物的功能要求房间的大小变化较多时，为了结构布置的合理性，通常采用纵横墙布置方案。纵横墙承重方案既可保证有灵活布置的房间，又具有较大的空间刚度和整体性，纵、横两个方向的空间刚度均比较好，便于施工，所以适用于教学楼、办公楼、多层住宅等建筑。

此类房屋的荷载传递路线为楼(屋)面板→$\left\{\begin{array}{l}\text{梁→纵墙}\\\text{横墙}\end{array}\right\}$→基础→地基。

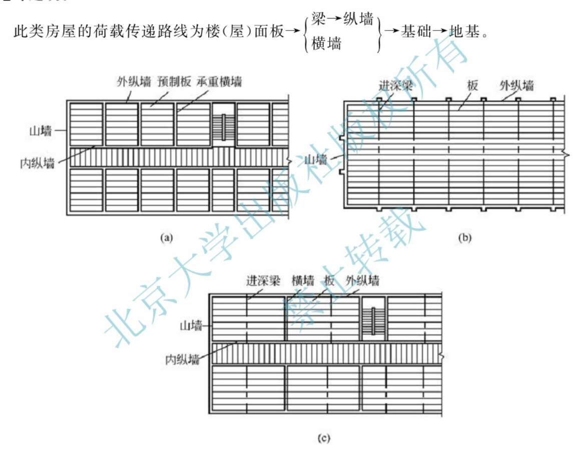


图 10.5 混合结构房屋结构布置方案

(a) 横墙承重体系；(b) 纵墙承重体系；(c) 纵横墙承重体系

应用案例 10-1

如图 10.6 所示，Ⓐ～Ⓑ轴线间楼板沿纵向布置，楼面荷载传给横墙和梁 L2，L2 又将荷载传给纵墙；Ⓑ～Ⓒ轴线间楼板沿横向布置，楼面荷载传给内纵墙；Ⓒ～Ⓓ轴线间楼板沿纵向布置，楼面荷载传给横墙和 L1，L1 又将荷载传给纵墙。因此，该办公楼为纵横墙承重体系。

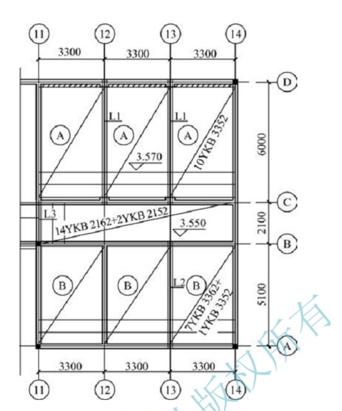


图 10.6 纵横墙承重体系

10.3.2 受压构件承载力计算

砌体构件的整体性较差，因此砌体构件在受压时，纵向弯曲对砌体构件承载力的影响较其他整体构件显著；同时又因为荷载作用位置的偏差、砌体材料的不均匀性以及施工误差，使轴心受压构件产生附加弯矩和侧向挠曲变形。砌体结构采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，采用分项系数的设计表达式进行计算。《砌体结构设计规范》规定，把轴向力的偏心距和构件的高厚比对受压构件承载力的影响采用同一系数 φ 来考虑，对无筋砌体轴心受压构件、偏心受压承载力均按下式计算。

$$N \leqslant \varphi f A \tag{10-1}$$

式中，N——轴向力设计值；

f——砌体的抗压强度设计值；

A——截面面积，按毛面积计算；

φ——构件的高厚比 β 和轴向力的偏心距 e 对受压构件承载力的影响系数。

10.3.3 无筋砌体局部受压承载力计算

局部受压是工程中常见的情况，其特点是压力仅仅作用在砌体的局部受压面上，梁端支承处的砌体属于局部受压的情况。若砌体局部受压面积上压应力呈均匀分布，则称为局部均匀受压。无论是局部均匀受压，还是不均匀受压，其承载力必须通过计算来保证，具体计算公式可参考《砌体结构设计规范》相关内容，此处不再讲述。

特别提示

(1) 当梁端局部受压承载力不足时，可在梁端下设置垫块(图 10.7)。设置刚性垫块不但增大了局部承压面积，而且还可以使梁端压应力比较均匀地传递到垫块下的砌体截面上，从而改善了砌体的受力状态。刚性垫块分为预制刚性垫块和现浇刚性垫块。

(2) 除了增设垫块外，也可在梁端设置钢筋混凝土垫梁。

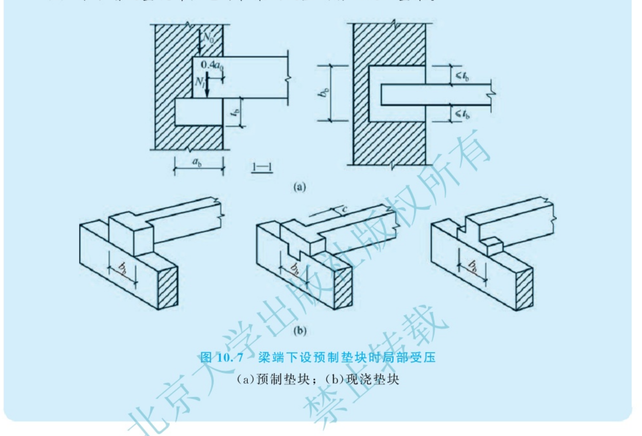


图 10.7 梁端下设预制垫块时局部受压
(a)预制垫块；(b)现浇垫块

10.3.4 墙、柱的高厚比

砌体结构房屋中，作为受压构件的墙、柱除了要满足承载力要求之外，还必须满足高厚比的要求。墙、柱的高厚比验算是保证砌体房屋施工阶段和使用阶段稳定性与刚度的一项重要构造措施。

10.3.5 墙、柱的一般构造要求

为了保证砌体房屋的耐久性和整体性，砌体结构和结构构件在设计使用年限内和正常维护下，必须满足砌体结构正常使用极限状态的要求，一般可由相应的构造措施来保证。

1. 材料的最低强度等级

地面以下或防潮层以下的砌体、潮湿房间的墙，应符合表 10 - 1 的要求。

表 10-1 地面以下或防潮层以下的砌体、潮湿房间的墙所用材料的最低强度等级

潮湿程度	烧结普通砖	混凝土普通砖、蒸压普通砖	混凝土砌块	石材	水泥砂浆
稍潮湿的	MU15	MU20	MU7.5	MU30	M5
很潮湿的	MU20	MU20	MU10	MU30	M7.5
含水饱和的	MU20	MU25	MU15	MU40	M10

2. 墙、柱的最小截面尺寸

对于承重的独立砖柱，截面尺寸不应小于 240mm×370mm。毛石墙的厚度不宜小于 350mm；毛料石柱较小边长不宜小于 400mm。承受振动荷载时，墙、柱不宜采用毛石砌体。

3. 房屋整体性的构造要求

(1) 跨度大于 6m 的屋架和跨度大于下列数值的梁，应在支承处设置混凝土和钢筋混凝土垫块；当墙中设有圈梁时，垫块与圈梁宜浇成整体：砖砌体为 4.8m；砌块和料石砌体为 4.2m；毛石砌体为 3.9m。

(2) 当梁跨度大于或等于下列数值时，其支承处宜加设壁柱：240mm 厚砖墙为 6m；180mm 厚砖墙为 4.8m；砌块、料石墙为 4.8m。

(3) 预制钢筋混凝土板的支承长度，在墙上不应小于 100mm；在钢筋混凝土圈梁上不应小于 80mm，板端应有伸出钢筋相互有效连接，并用不低于 C25 的混凝土浇成板带。

(4) 支承在墙、柱上的吊车梁、屋架及跨度大于或等于下列数值的预制梁，其端部应采用锚固件与墙、柱上的垫块锚固：砖砌体为 9m；砌块和料石砌体为 7.2m。

(5) 填充墙、隔墙应采取措施与周边构件可靠连接。如在钢筋混凝土骨架中预埋拉结钢筋，砌砖时将拉结筋嵌入墙体的水平缝内。

(6) 山墙处的壁柱宜砌至山墙顶部，屋面构件应与山墙有可靠拉结。

(7) 砌块砌体应分皮错缝搭砌，上下皮搭砌长度不应小于 90mm。当搭砌长度不满足上述要求时，应在水平灰缝内设置不少于 2Φ4 的焊接钢筋网片(横向钢筋的间距不应大于 200mm，网片每端应伸出该垂直缝不小于 300mm)。

(8) 砌块墙与后砌隔墙交接处，应沿墙高每 400mm 在水平灰缝内设置不少于 2Φ4、横筋间距不应大于 200mm 的焊接钢筋网片(图 10.8)。

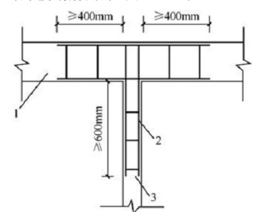


图 10.8 砌体墙与后砌隔墙交接处钢筋网片

1—砌块墙；2—焊接钢筋网片；3—后砌隔墙

(9) 混凝土砌体房屋，宜将纵横墙交接处，距墙中心线每边不小于 300mm 范围内的孔洞，采用强度等级不低于 Cb20 的混凝土沿全墙高灌实。



10.4 过梁、挑梁

10.4.1 过梁

设置在门窗洞口上的梁称为过梁。它用以支承门窗上面部分墙砌体的自重，以及距洞口上边缘高度不太大的梁板传下来的荷载，并将这些荷载传递到两边窗间墙上，以免压坏门窗。过梁的种类主要有砖砌过梁(图 10.9)和钢筋混凝土过梁(图 10.10)两大类。

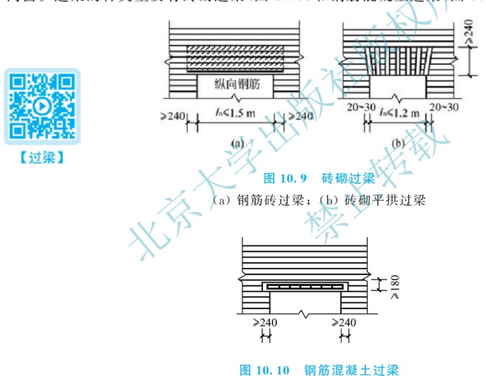


图 10.9 砖砌过梁

(a) 钢筋砖过梁；(b) 砖砌平拱过梁

图 10.10 钢筋混凝土过梁

1. 砖砌过梁

1) 钢筋砖过梁

一般来讲，钢筋砖过梁的跨度不宜超过 1.5m，砂浆强度等级不宜低于 M5。钢筋砖过梁的施工方法是：在过梁下皮设置支承和模板，然后在模板上铺一层厚度不小于 30mm 的水泥砂浆层，在砂浆层里埋入钢筋，钢筋直径不应小于 5mm，间距不宜大于 120mm。钢筋每边伸入砌体支座内的长度不宜小于 240mm。

2) 砖砌平拱过梁

砖砌平拱过梁的跨度不宜超过 1.2m，砂浆的强度等级不宜低于 M5。

3）砖砌弧拱过梁

砖砌弧拱过梁竖砖砌筑的高度不应小于115mm(半砖)。弧拱的最大跨度一般为2.5～4m。砖砌弧拱由于施工较为复杂，目前较少采用。

2. 钢筋混凝土过梁(代号是GL)

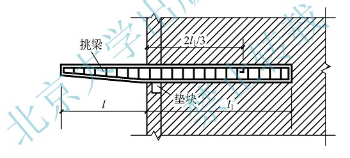
对于有较大振动或可能产生不均匀沉降的房屋，或门窗宽度较大时，应采用钢筋混凝土过梁。钢筋混凝土过梁按受弯构件设计，其截面高度一般不小于180mm，截面宽度与墙体厚度相同，端部支承长度不应小于240mm。目前砌体结构已大量采用钢筋混凝土过梁，各地市均已编有相应标准图集供设计时选用。

特别提示

过梁上的荷载有两类：一类是过梁上部墙体的质量；另一类是过梁上梁板传来的荷载。

10.4.2 挑梁

楼面及屋面结构中用来支承阳台板、外伸走廊板、檐口板的构件即为挑梁(代号是TL，图10.11)。挑梁是一种悬挑构件，它除了要进行抗倾覆验算外，还应按钢筋混凝土受弯、受剪构件分别计算挑梁的纵筋和箍筋。此外，还要满足下列要求。



【悬挑梁】

图10.11 挑梁

(1) 挑梁埋入墙体内的长度l_1与挑出长度l之比宜大于1.2；当挑梁上无砌体时，l_1与l之比宜大于2。

(2) 挑梁中的纵向受力钢筋配置在梁的上部，至少应有一半伸入梁尾端，且不少于2Φ12，其余钢筋伸入墙体的长度不应小于$\frac{2l_1}{3}$。

(3) 挑梁下的墙砌体受到较大的局部压力，应进行挑梁下局部受压承载力验算。

特别提示

(1) 挑梁属于受弯构件，根部弯矩和剪力最大。纵向受拉钢筋配在上部。

(2) 挑梁一般做成变截面梁。

(3) 挑梁的抗倾覆计算公式和倾覆点位置x_0的计算公式同模块9中雨篷的相关公式。

10.5 砌体结构抗震要求

10.5.1 一般规定

1. 房屋高度的限制

一般情况下，砌体房屋层数越高，其震害程度和破坏率也越大。我国《建筑抗震设计规范》规定了多层砌体房屋的层数和总高度限值(表 10-2)。

(1) 房屋的总高度指室外地面到主要屋面板板顶或檐口的高度，半地下室从地下室室内地面算起，全地下室和嵌固条件好的半地下室应允许从室外地面算起；对带阁楼的坡屋面应算到山尖墙的 1/2 高度处。

(2) 横墙较少的多层砌体房屋，总高度应比表 10-2 的规定降低 3m，层数相应减少一层；各层横墙很少的房屋，还应再减少一层。横墙较少是指同一楼层内开间大于 4.2m 的房间占该层总面积的 40%以上；其中开间不大于 4.2m 的房间占该层总面积不到 20%且开间大于 4.8m 的房间占该层总面积的 50%以上为横墙很少。

表 10-2 房屋的层数和总高度限值(m)

房屋类别		最小墙厚度/mm	烈度和设计基本地震加速度											
			6 度		7 度				8 度				9 度	
			0.05*g*		0.10*g*		0.15*g*		0.20*g*		0.30*g*		0.40*g*	
			高度	层数	高度	层数	高度	层数	高度	层数	高度	层数	高度	层数
多层砌体房屋	普通砖	240	21	7	21	7	21	7	18	6	15	5	12	4
	多孔砖	240	21	7	21	7	18	6	18	6	15	5	9	3
	多孔砖	190	21	7	18	6	15	5	15	5	12	4	—	—
	混凝土砌块	190	21	7	21	7	18	6	18	6	15	5	9	3
底部框架-抗震墙砌体房屋	普通砖 多孔砖	240	22	7	22	7	19	6	16	5	—	—	—	—
	多孔砖	190	22	7	19	6	16	5	13	4	—	—	—	—
	混凝土砌块	190	22	7	22	7	19	6	16	5	—	—	—	—

注：(1) 室内外高差大于 0.6m 时，房屋总高度应允许比表中数据适当增加，但增量应小于 1m。

(2) 乙类的多层砌体房屋仍按本地区设防烈度查表，但层数应减少一层且总高度应降低 3m；不应采用底部框架-抗震墙砌体房屋。

(3) 6、7 度时，横墙较少的丙类多层砌体房屋，当按规定采取加强措施并满足抗震承载力要求时，其高度和层数应允许仍按表 10-2 的规定采用。

（4）多层砌体承重房屋的层高不应超过 3.6m。底部框架-抗震墙砌体房屋的底部，层高不应超过 4.5m。

2. 房屋最大高宽比的限制

在地震作用下，房屋的高宽比越大(即高而窄的房屋)，越容易失稳倒塌。因此为保证砌体房屋的整体性，其总高度与总宽度的最大比值，宜符合表 10－3 的要求。

表 10－3　房屋最大高宽比

烈　　度	6 度	7 度	8 度	9 度
最大高宽比	2.5	2.5	2.0	1.5

注：(1) 单面走廊房屋的总宽度不包括走廊宽度。
(2) 建筑平面接近正方形时，其高宽比宜适当减小。

3. 抗震横墙的间距

多层砌体房屋抗震横墙的间距不应超过表 10－4 的要求。

表 10－4　房屋抗震横墙的间距(m)

房屋类别		烈　　度			
		6 度	7 度	8 度	9 度
多层砌体房屋	现浇或装配整体式钢筋混凝土楼、屋盖	15	15	11	7
	装配式钢筋混凝土楼、屋盖	11	11	9	4
	木屋盖	9	9	4	—
底部框架-抗震墙砌体房屋	上部各层	同多层砌体房屋			—
	底层或底部两层	18	15	11	—

注：(1) 多层砌体房屋的顶层，除木屋盖外的最大横墙间距应允许适当放宽，但应采取相应加强措施。
(2) 多孔砖抗震横墙厚度为 190mm 时，最大横墙间距应比表中数值减少 3m。

4. 房屋局部尺寸的限制

多层砌体房屋的薄弱部位是窗间墙、尽端墙段、女儿墙等。对这些部位的尺寸应加以限制(表 10－5)。

表 10－5　房屋局部尺寸的限制(m)

部　　位	烈　　度			
	6 度	7 度	8 度	9 度
承重窗间墙最小宽度	1.0	1.0	1.2	1.5
承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.2	1.5
非承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.0	1.0
内墙阳角至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.5	2.0
无锚固女儿墙(非出入口处)的最大高度	0.5	0.5	0.5	0.0

注：出入口处的女儿墙应有锚固。

应用案例 10 - 2

验算实例一中的房屋高度、房屋最大高宽比、抗震横墙间距、房屋局部尺寸是否满足《建筑抗震设计规范》规定。

解：(1) 验算房屋高度的限制。房屋总高度=7.2m(两层层高)+0.45m(室内外高差)=7.65m，墙厚 240mm，蒸压粉煤灰砖，7 度抗震设防，由于该办公楼横墙较少，查表 10 - 2 知，《建筑抗震设计规范》规定的高度为 21—3=18(m)，层数为 7—1=6(层)。该楼房屋总高度 7.65m<18m，层数 2 层<6 层，层高 3.6m 满足规定，故满足要求。

(2) 验算房屋最大高宽比的限制。房屋总高度为 7.65m，宽度为 6m，高宽比为 $\frac{7.65}{6}=$ 1.275，查表 10 - 3 知，规定的最大高宽比为 2.5，1.275<2.5，故满足要求。

(3) 验算抗震横墙最大间距的限制。最大横墙间距为 9.9m，装配式钢筋混凝土楼、屋盖，查表 10 - 4 知，规范规定的抗震横墙最大间距为 15m，9.9m<15m，故满足要求。

(4) 由实例一建筑平面图验算房屋局部尺寸。

承重窗间墙最小宽度：承重窗间墙最小宽度(在②轴与Ⓑ轴相交处)是 1080mm=1.08m，大于 1m，满足要求。

承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离：承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离(在Ⓐ轴、Ⓓ轴与①轴相交处)750+120=870(mm)=0.87m，小于 1m，不满足，故在该位置均设置了构造柱 GZ1。

非承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离：非承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离(在Ⓐ轴与④轴相交处)亦为 0.87m，小于 1m，不满足，故在该位置也设置了构造柱 GZ1。

内墙阳角至门窗洞边的最小距离：内墙阳角至门窗洞边的距离(在Ⓒ轴与⑦、⑧轴相交处楼梯间)370+120=490(mm)=0.49m，小于 1m，不满足，故在该位置也设置了构造柱 GZ1。

无锚固女儿墙(非出入口处)的最大高度：出屋面的女儿墙高度为 1m，此女儿墙属于有锚固的女儿墙(有构造柱和压顶锚固)，故高度不受 0.5m 的限制。

5. 其他规定

(1) 应优先采用横墙承重或纵横墙共同承重的结构体系，不应采用砌体墙和混凝土墙混合承重的结构体系。

(2) 纵横向砌体抗震墙的布置宜均匀对称，沿平面内宜对齐，沿竖向应上下连续；且纵横向墙体的数量不宜相差过大。同一轴线上的窗间墙宽度宜均匀。

(3) 房屋有下列情况之一时宜设置防震缝，缝两侧均应设置墙体，缝宽应根据烈度和房屋高度确定，可采用 70～100mm：①房屋立面高差在 6m 以上；②房屋有错层且楼板高差大于层高的 1/4；③各部分结构刚度、质量截然不同。

(4) 楼梯间不宜设置在房屋的尽端和转角处。

(5) 不应在房屋转角处设置转角墙。

(6) 横墙较少、跨度较大的房屋，宜采用现浇钢筋混凝土楼、屋盖。

应用案例 10 - 3

验算实例一中的二层砌体房屋的结构体系是否满足《建筑抗震设计规范》的规定。

(1) 实例一采用的是纵横墙共同承重的结构体系，符合要求。

(2) 纵横墙的布置均匀对称，沿平面内对齐，沿竖向上下连续；同一轴线上的窗间墙宽度均匀，符合要求。

(3) 房屋无高差、无错层，各部分结构刚度、质量相同，没有设置防震缝。

(4) 楼梯间设置在房屋的中部，没有在尽端和转角处，符合要求。

(5) 房屋无烟道、风道、垃圾道等。

(6) 该楼是办公楼，不属于教学楼、医院等，故采用的是装配式钢筋混凝土楼、屋盖。

(7) 房屋无钢筋混凝土预制挑檐。

综上所述，该房屋的结构体系满足《建筑抗震设计规范》的规定。

10.5.2 多层砖砌体房屋抗震构造措施

震害分析表明，在多层砖砌体房屋中的适当部位设置钢筋混凝土构造柱，并与圈梁连接使之共同工作，可以增加房屋的延性，提高房屋抗倒塌能力，防止或延缓房屋在地震作用下突然倒塌，或者减轻房屋的损坏程度。

1. 构造柱的设置

1) 构造柱设置部位



【构造柱】

(1) 构造柱设置部位，一般情况下应符合表10－6的要求。

(2) 外廊式和单面走廊式的多层房屋，应根据房屋增加一层的层数，按表10－6的要求设置构造柱，且单面走廊两侧的纵墙均应按外墙处理。

(3) 横墙较少的房屋，应根据房屋增加一层的层数，按表10－6的要求设置构造柱。当横墙较少的房屋为外廊式或单面走廊式时，应按第(2)条要求设置构造柱；但6度不超过四层、7度不超过三层和8度不超过两层时应按增加两层的层数对待。

(4) 各层横墙很少的房屋，应按增加两层的层数设置构造柱。

表10－6 砖房构造柱设置要求

<table>
<tr><th colspan="4">房屋层数</th><th colspan="2" rowspan="2">设置部位</th></tr>
<tr><th>6度</th><th>7度</th><th>8度</th><th>9度</th></tr>
<tr><td>四、五</td><td>三、四</td><td>二、三</td><td></td><td rowspan="3">楼(电)梯间四角，楼梯斜段上下端对应的墙体处；
外墙四角和对应转角；
错层部位横墙与外纵墙交接处；
大房间内外墙交接处；
较大洞口两侧</td><td>隔12m或单元横墙与纵墙交接处；
楼梯间对应的另一侧内横墙与外纵墙交接处</td></tr>
<tr><td>六</td><td>五</td><td>四</td><td>二</td><td>隔开间横墙(轴线)与外墙交接处；山墙与内纵墙交接处</td></tr>
<tr><td>七</td><td>≥六</td><td>≥五</td><td>≥三</td><td>内墙(轴线)与外墙交接处；内墙的局部较小墙垛处；内纵墙与横墙(轴线)交接处</td></tr>
</table>

注：较大洞口，内墙指不小于2.1m的洞口；外墙在内外墙交接处已设置构造柱时允许适当放宽，但洞侧墙体应加强。

2）构造柱的截面尺寸及配筋

(1) 构造柱最小截面可采用 180mm×240mm(墙厚 190mm 时为 180mm×190mm)，纵向钢筋宜采用 4 Φ12，箍筋间距不宜大于 250mm，且在柱上下端应适当加密；6、7 度时超过六层，8 度时超过五层和 9 度时，构造柱纵向钢筋宜采用 4Φ14，箍筋间距不应大于 200mm；房屋四角的构造柱应适当加大截面及配筋。

(2) 构造柱与墙连接处应砌成马牙槎(图 10.12)，沿墙高每隔 500mm 设 2Φ6 水平钢筋和Φ4 分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或Φ4 点焊钢筋网片，每边伸入墙内不宜小于 1m(图 10.13)。6、7 度时底部 1/3 楼层，8 度时底部 1/2 楼层，9 度时全部楼层，上述拉结钢筋网片应沿墙体水平通长设置。

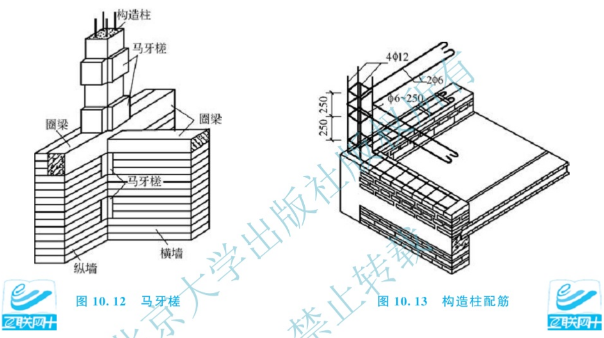


图 10.12　马牙槎　　图 10.13　构造柱配筋

(3) 构造柱与圈梁连接处，构造柱的纵筋应在圈梁纵筋内侧穿过，保证构造柱纵筋上下贯通(图 10.14)。

(4) 构造柱可不单独设置基础，但应伸入室外地面下 500mm，或与埋深小于 500mm 的基础圈梁相连。

(5) 房屋高度和层数接近表 10-6 的限值时，纵、横墙内构造柱间距尚应符合下列要求。

① 横墙内的构造柱间距不宜大于层高的两倍；下部 1/3 楼层的构造柱间距适当减小。

② 当外纵墙开间大于 3.9m 时，应另设加强措施。内纵墙的构造柱间距不宜大于 4.2m。

应用案例 10-4

验算实例一中的构造柱设置是否满足《建筑抗震设计规范》的要求。

(1) 构造柱的设置部位。实例一属于单面走廊式的多层房屋，应根据二层房屋增加一层的层数即按三层设置构造柱，7 度设防。构造柱设置在：楼梯间四角，楼梯段上下端对应的墙体处；外墙四角和对应转角，单元横墙与纵墙交接处。见实例一结施-2、结施-3。

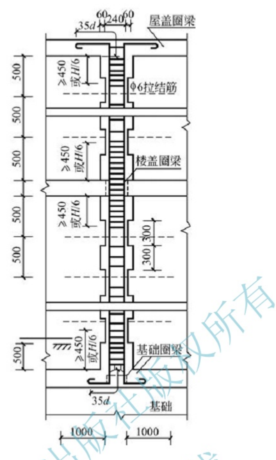


图 10.14　构造柱与墙体之间的拉结筋

(2) 构造柱的截面尺寸及配筋。截面采用 240mm×240mm，混凝土等级为 C25，纵向钢筋采用 4 Φ12，箍筋间距 200mm，在柱上下端与圈梁交接处加密至 100mm。

经验算，实例一中的构造柱设置满足《建筑抗震设计规范》的要求。

特别提示

框架柱与构造柱的区别：框架柱是承重构件，而构造柱不承重；框架柱中的钢筋需计算配置，而构造柱中的钢筋无须计算，仅按上述构造规定配置即可；框架柱下有基础，而构造柱不需设基础；框架柱施工时是先浇混凝土柱，后砌填充墙，而构造柱施工时是先砌墙后浇柱。

2. 圈梁的设置


【圈梁】

设置钢筋混凝土圈梁是加强墙体的连接，提高楼(屋)盖刚度，抵抗地基不均匀沉降，限制墙体裂缝开展，保证房屋整体性，提高房屋抗震能力的有效构造措施。

1) 圈梁的设置部位

(1) 装配式钢筋混凝土楼(屋)盖的砖房，应按表 10－7 的要求设置圈梁；纵墙承重时，抗震横墙上的圈梁间距应比表内要求适当加密。

表 10-7　砖房现浇钢筋混凝土圈梁设置要求

墙类	烈度		
	6、7 度	8 度	9 度
外墙和内纵墙	屋盖处及每层楼盖处	屋盖处及每层楼盖处	屋盖处及每层楼盖处
内横墙	同上； 屋盖处间距不应大于 4.5m； 楼盖处间距不应大于 7.2m； 构造柱对应部位	同上； 各层所有横墙，且间距不应大于 4.5m； 构造柱对应部位	同上； 各层所有横墙

(2) 现浇或装配整体式钢筋混凝土楼、屋盖与墙体有可靠连接的房屋，应允许不另设圈梁，但楼板沿墙体周边应加强配筋并应与相应的构造柱钢筋可靠连接。

2) 圈梁的截面尺寸及配筋

圈梁(图 10.15)的截面高度不应小于 120mm，配筋应符合表 10-8 的要求。但在软弱黏性土层、液化土、新近填土或严重不均匀土层上的基础圈梁，截面高度不应小于 180mm，配筋不应少于 4 Φ12(图 10.16)。

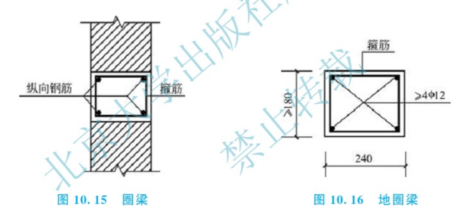


图 10.15　圈梁　　　图 10.16　地圈梁

表 10-8　圈梁配筋要求

配筋	烈度		
	6、7 度	8 度	9 度
最小纵筋	4 Φ10	4 Φ12	4 Φ14
最大箍筋间距	250	200	150

应用案例 10-5

验算实例一中的圈梁设置是否满足《建筑抗震设计规范》的要求。

(1) 圈梁的设置部位。每层均设置了圈梁，且沿所有墙体均设。满足关于“外墙、内纵墙、内横墙在屋盖处及每层楼盖处”圈梁设置的要求。内横墙圈梁间距 3.3m(大梁也兼圈梁的作用)满足“屋盖处间距不应大于 7m，楼盖处间距不应大于 15m，构造柱对应部位”的要求。

(2) 圈梁的截面尺寸及配筋。圈梁的截面高度 240mm＞120mm，基础圈梁截面高度 240mm＞180mm，配筋 4Φ12＞4Φ10，箍筋 Φ6@100/200，间距 200mm＜最大箍筋间距 250mm。

经验算，实例一中的圈梁设置满足《建筑抗震设计规范》的要求。

3) 圈梁的构造

圈梁应闭合，遇有洞口圈梁应设附加圈梁(图 10.17)。圈梁宜与预制板设在同一标高处或紧靠板底(图 10.18)。若表 10-7 要求的间距内无横墙时，应利用梁或板缝中配筋替代圈梁(图 10.19)。

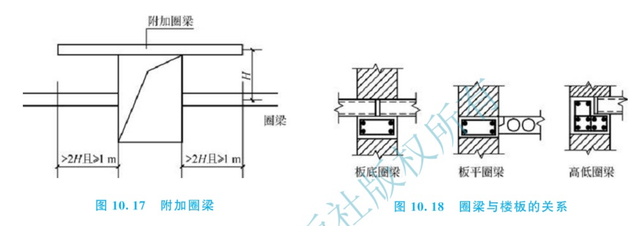


图 10.17 附加圈梁

图 10.18 圈梁与楼板的关系

3. 楼(屋)盖与墙体的连接

(1) 现浇钢筋混凝土楼板或屋面板伸进纵、横墙内的长度，均不应小于 120mm。

(2) 装配式钢筋混凝土楼板或屋面板，当圈梁未设在板的同一标高时，板端伸进外墙的长度不应小于 120mm，伸进内墙的长度不应小于 100mm 或采用硬架支模连接，在梁上不应小于 80mm 或采用硬架支模连接。

(3) 当板的跨度大于 4.8m 并与外墙平行时，靠外墙的预制板侧边应与墙或圈梁拉结(图 10.20)。

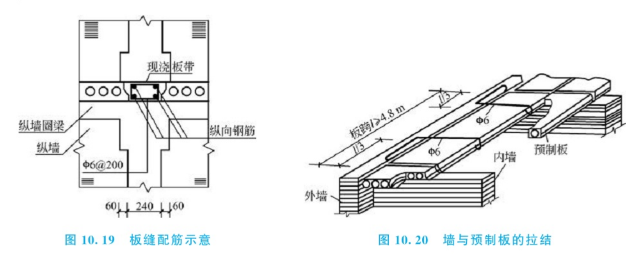


图 10.19 板缝配筋示意

图 10.20 墙与预制板的拉结

(4) 房屋端部大房间的楼盖，6 度时房屋的屋盖和 7～9 度时房屋的楼、屋盖，当圈梁设在板底时，钢筋混凝土预制板应相互拉结，并应与梁、墙或圈梁拉结(图 10.21)。

(5) 楼、屋盖的钢筋混凝土梁或屋架，应与墙、柱(包括构造柱)或圈梁可靠连接；不

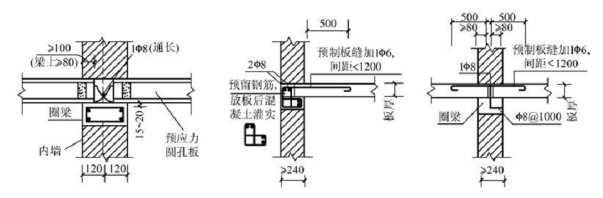


图 10.21　预制板板缝间、预制板与圈梁的拉结

得采用独立砖柱。跨度不小于 6m 的大梁的支承构件应采用组合砌体等加强措施，并满足承载力要求。

(6) 6、7 度时长度大于 7.2m 的大房间，以及 8、9 度时外墙转角及内外墙交接处，应沿墙高每隔 500mm 配置 2Φ6 通长钢筋和Φ4 分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或Φ4 点焊网片(图 10.22)。

(7) 预制阳台，6、7 度时应与圈梁和楼板的现浇板带可靠连接，8、9 度时不应采用预制阳台。

(8) 门窗洞处不应采用砖过梁，过梁支承长度，6～8 度时不应小于 240mm，9 度时不应小于 360mm。

(9) 后砌的非承重隔墙应沿墙高每 500mm 配置 2Φ6 钢筋与承重墙或柱拉结，且每边伸入墙内不应小于 500mm(图 10.23)。8 度和 9 度时，长度大于 5m 的后砌隔墙，墙顶应与楼板或梁拉结。

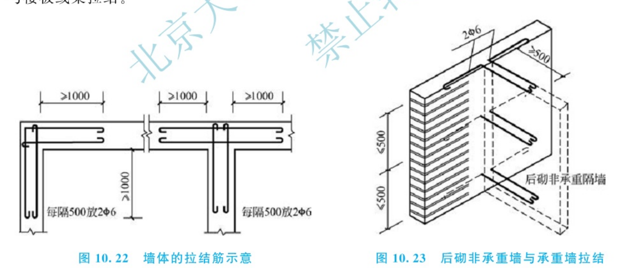


图 10.22　墙体的拉结筋示意

图 10.23　后砌非承重墙与承重墙拉结

4. 楼梯间的抗震构造

(1) 顶层楼梯间墙体应沿墙高每隔 500mm 设置 2Φ6 通长钢筋和Φ4 分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或Φ4 点焊网片；7～9 度时其他各层楼梯间墙体应在休息平台或楼层半高处设置 60mm 厚、纵向钢筋不应少于 2Φ10 的钢筋混凝土带或配筋砖带，配筋砖带不少于 3 皮，每皮的配筋不少于 2Φ6，砂浆强度等级不应低于 M7.5 且不低于同层墙体的砂浆强度等级。

（2）楼梯间及门厅内墙阳角处的大梁支承长度不应小于500mm，并应与圈梁连接。

（3）装配式楼梯段应与平台板的梁可靠连接；8、9度时不应采用装配式楼梯段；不应采用墙中悬挑式踏步或踏步竖肋插入墙体的楼梯，不应采用无筋砖砌栏板。

（4）突出屋顶的楼、电梯间，构造柱应伸到顶部，并与顶部圈梁连接，所有墙体应沿墙高每隔500mm设2Φ6通长拉结钢筋和Φ4分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或Φ4点焊网片。

5. 基础

同一结构单元的基础(或桩承台)宜采用同一类型的基础，底面宜埋置在同一标高上，否则应增设基础圈梁并应按1∶2的台阶逐步放坡。

10.5.3 框架填充墙

（1）框架填充墙墙体除应满足稳定要求外，尚应考虑水平风荷载及地震作用的影响。地震作用可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)中非结构构件的规定计算。

（2）填充墙的构造设计，应符合下列规定。

① 填充墙宜选用轻质块体材料。

② 填充墙砌筑砂浆的强度等级不宜低于M5(Mb5、Ms5)。

③ 填充墙墙体墙厚不应小于90mm。

④ 用于填充墙的夹心复合砌块，其两肢块体之间应有拉结。

（3）填充墙与框架的连接，可根据设计要求采用脱开或不脱开的方法。有抗震设防要求时宜采用填充墙与框架脱开的方法。

① 当填充墙与框架采用脱开的方法时，宜符合下列规定。

填充墙两端与框架柱，填充墙顶面与框架梁之间留出不小于20mm的间隙。

填充墙端部应设置构造柱，柱间距宜不大于20倍墙厚且不大于4000mm，柱宽度不小于100mm。柱竖向钢筋不宜小于10mm，箍筋宜为5mm，竖向间距不宜大于400mm。竖向钢筋与框架梁或其挑出部分的预埋件或预留钢筋连接，绑扎接头时不小于$30d$，焊接时(单面焊)不小于$10d$(d为钢筋直径)。柱顶与框架梁(板)应预留不小于15mm的缝隙，用硅酮胶或其他弹性密封材料封缝。当填充墙有宽度大于2100mm的洞口时，洞口两侧应加设宽度不小于50mm的单筋混凝土柱。

填充墙两端宜卡入设在梁、板底及柱侧的卡口铁件内，墙侧卡口板的竖向间距不宜大于500mm，墙顶卡口板的水平间距不宜大于1500mm。

墙体高度超过4m时宜在墙高中部设置与柱连通的水平系梁。水平系梁的截面高度不小于60mm。填充墙高不宜大于6m。

填充墙与框架柱、梁的缝隙可采用聚苯乙烯泡沫塑料板条或聚氨酯发泡材料充填，并用硅酮胶或其他弹性密封材料封缝。

所有连接用钢筋、金属配件、铁件、预埋件等均应做防腐防锈处理，并应符合《建筑抗震设计规范》第4.3节的规定。嵌缝材料应能满足变形和防护要求。

② 当填充墙与框架采用不脱开的方法时，宜符合下列规定。

沿柱高每隔500mm配置2根直径6mm(墙厚大于240mm时配置3根直径6mm)的拉结钢筋，钢筋伸入填充墙长度不宜小于700mm，且拉结钢筋应错开截断，相距不宜小于200mm。填充墙墙顶应与框架梁紧密结合。顶面与上部结构接触处宜用一皮砖或配砖斜砌楔紧。

当填充墙有洞口时，宜在窗洞口的上端或下端、门洞口的上端设置钢筋混凝土带，钢筋混凝土带应与过梁的混凝土同时浇筑，其过梁的断面及配筋由设计确定。钢筋混凝土带的混凝土强度等级不小于C20。当有洞口的填充墙尽端至门窗洞口边距离小于240mm时，宜采用钢筋混凝土门窗框。

填充墙长度超过5m或墙长大于2倍层高时，墙顶与梁宜有拉接措施，墙体中部应加设构造柱；墙高度超过4m时宜在墙高中部设置与柱连接的水平系梁；墙高度超过6m时，宜沿墙高每2m设置与柱连接的水平系梁，梁的截面高度不小于60mm。

小　结

砌体结构的一般构造要求包括：砌体材料的最低强度、墙柱的最小尺寸要求、房屋整体性的构造要求、砌块砌体的构造要求，还包括防止或减轻墙体开裂的主要措施。

墙、柱的高厚比验算是保证砌体房屋施工阶段和使用阶段稳定性与刚度的一项重要构造措施。

过梁的种类包括砖砌过梁和钢筋混凝土过梁两大类，砖砌过梁又分为钢筋砖过梁、砖砌平拱过梁。目前砌体结构大量采用钢筋混凝土过梁。

挑梁是一种悬挑构件，它除了要按钢筋混凝土受弯构件分别计算挑梁的纵筋和箍筋外，还应进行抗倾覆验算及挑梁下局部受压承载力验算。

多层砌体房屋的破坏主要发生在墙体、墙体转角处、楼梯间墙体、内外墙连接处、预制楼盖处，以及突出屋面的屋顶结构(如电梯机房、水箱间、女儿墙)等部位。

多层砌体房屋的抗震一般规定有：房屋高度的限制、房屋最大高宽比的限制、抗震横墙间距的限制、房屋局部尺寸的限制。

多层砖房的抗震构造措施主要有：适当部位设置钢筋混凝土构造柱，适当部位设置钢筋混凝土圈梁，墙体之间的可靠连接，构件要具有足够的搭接长度和可靠连接，加强楼梯间的整体性。

填充墙与框架的连接，可根据设计要求采用脱开或不脱开的方法。有抗震设防要求时宜采用填充墙与框架脱开的方法。



习　题

一、选择题

1. 砌体受压后的变形由三部分组成，其中(　　)的压缩变形是主要部分。

A. 空隙　　　　B. 砂浆层　　　　C. 块体

2. 混合结构房屋的空间刚度与(　　)有关。

A. 屋盖(楼盖)类别、横墙间距　　B. 横墙间距、有无山墙

C. 有无山墙、施工质量　　D. 屋盖(楼盖)类别、施工质量

二、简答题

1. 砌体结构中块体与砂浆的作用是什么？对砌体所用块体与砂浆的基本要求有哪些？
2. 砌体的种类有哪些？
3. 轴心受压砌体的破坏特征有哪些？
4. 影响砌体抗压强度的因素有哪些？
5. 砌体房屋限制高厚比的目的是什么？
6. 砌体房屋中，设置构造柱与圈梁的作用是什么？

模块11 多高层房屋结构简介

教学目标

通过本模块的学习，掌握剪力墙结构、框架-剪力墙结构及筒体结构的抗震构造措施；能够识读简单剪力墙结构施工图，了解高层建筑结构总体布置原则。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
了解多高层建筑结构总体布置原则	多高层建筑结构总体布置原则	15%
掌握常见结构体系抗震构造措施	常见结构体系配筋构造规定	45%
能够识读剪力墙结构施工图	剪力墙结构平法制图规则	40%

学习重点

剪力墙结构、框架-剪力墙结构及筒体结构的配筋构造规定。剪力墙结构平法制图规则及识读。

引例

台北的101大厦楼高508m、101层，有世界最大且最重的“风阻尼器”。101层塔楼的结构体系以井字形的巨型构架为主，巨型构架在每8层楼设置一或两层楼高的巨型桁架梁，并与巨型外柱及核心斜撑构架组成近似11层楼高的巨型结构。柱位规划可简单归纳为内柱与外柱，服务核心内共有16支箱形内柱，箱形内柱由4片钢板经电焊组合而成，中低层部分以内灌混凝土增加劲度和强度；外柱则随着楼层高度而又不同的配置，在26层以下均为与帷幕平行的斜柱，其两侧各配置2支巨柱及2支次巨柱，其中巨柱及次巨柱皆为内灌混凝土的长方形钢柱，另外每层配置4支两斜角柱，角柱为内灌混凝土的方形钢柱。

大家知道的知名的多高层建筑有哪些？它们有什么建筑特色？各采用什么样的结构体系？

11.1 多高层房屋结构的类型

随着社会生产力和现代科学技术的发展，在一定条件下社会出现了高层建筑。从20世纪90年代到21世纪初，我国高层建筑有了很大的发展，一批现代高层建筑以全新的面貌呈现在人们面前。由于高层建筑具有占地面积小、节约市政工程费用、节省拆迁费、改变城市面貌等优点，为了改善城市居民的居住条件，在大城市和某些中等城市中，多高层住宅发展十分迅速，主要用于住宅、旅馆以及办公楼等建筑。

关于多层与高层建筑的界限，各国有不同的标准。我国对高层建筑的规定如下：《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)(以下简称《高规》)、《民用建筑设计通则》(GB 50352—2005)和《高层民用建筑设计防火规范(2005年版)》(GB 50045—1995)均以10层及10层以上或房屋高度大于28m的住宅建筑，以及高度大于24m的其他民用房屋为高层建筑。目前，多层房屋多采用混合结构和钢筋混凝土结构，高层房屋常采用钢筋混凝土结构、钢结构、钢-混凝土混合结构。

多高层建筑是随着社会生产的发展和人们生活的需要而发展起来的，是商业化、工业化和城市化的结果。位于马来西亚吉隆坡市中心区的佩重纳斯大厦，俗称“双子塔”，楼高452m，共88层，在第40层和41层之间有一座天桥，方便楼与楼之间来往，这幢外形独特的银色尖塔式建筑号称世界最高的双峰塔；位于美国伊利诺伊州芝加哥的西尔斯大厦楼高443m，共110层，一度是世界上最高的办公楼；位于我国上海浦东陆家嘴金融贸易区的金茂大厦，工程占地面积2.3万平方米，建筑总面积约29万平方米，由塔楼、裙房和地下室3部分组成，其中地下室3层(最深19.6m)，塔楼地上88层，总高度为420.5m；位于我国台北的101大楼楼高508m，101层，以上所述各高层建筑如图11.1所示。

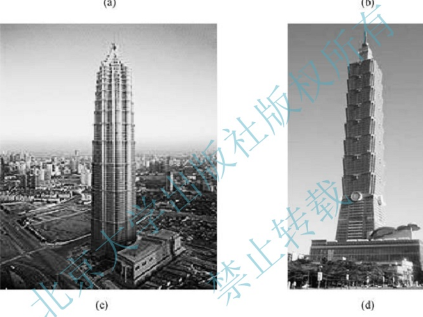


(a)



(b)

【超级工程】



(c) (d)

图 11.1 世界著名高层建筑

(a)马来西亚佩重纳斯大厦；(b)美国西尔斯大厦；
(c)中国上海金茂大厦；(d)中国台北 101 大厦

11.1.1 多高层建筑结构类型

在多高层建筑结构中，风荷载和水平地震作用所产生的侧向力成为其主要控制作用，因此多高层建筑结构设计的关键问题就是应设置合理形式的抗侧力构件及有效的抗侧力结构体系，使结构具有相应的刚度来抵抗侧向力。多高层建筑结构中基本的抗侧力单元是框架、剪力墙、井筒、框筒及支承。

在确定高层建筑结构体系时应遵守以下原则。

(1) 应具有明确的计算简图和合理的水平地震作用传递途径。

(2) 应具有多道抗震防线，避免因部分结构或构件破坏而导致整个结构体系丧失抗震能力。

(3) 应具有必要的强度和刚度、良好的变形能力和能量吸收能力，结构体系的抗震能力表现为强度、刚度和延性恰当地匹配。

(4) 具有合理的刚度和强度分布，避免因局部削弱或突变形成薄弱部位，产生过大的应力集中或塑性变形集中。

(5) 宜选用有利于抗风作用的高层建筑体型，即选用风压较小的建筑体型。

(6) 高层建筑的开间、进深尺寸和选用的构件类型应减少规格，符合建筑模数。高层建筑的建筑平面宜选用风压较小的形状，并考虑邻近建筑对其风压分布的影响。

(7) 高层建筑结构的平面布置宜简单、规则、对称，减少偏心；平面长度 L 及结构平面外伸部分长度 l 均不宜过长；竖向体型应力求规则、均匀，避免有过大的外挑和内收使竖向刚度突变，以致在一些楼层形成变形集中而最终导致严重的震害。

11.1.2 多高层建筑常见的结构类型及发展趋势

多高层建筑常见的结构类型如模块1所述的混合结构、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构等。

随着高层建筑的迅速发展，层数越来越高，结构体系越来越新颖，建筑造型越来越丰富多样，因此有限的结构体系已经不能适应新的要求。为了满足当今高层建筑的要求，要求设计者必须在材料和结构体系上不断地创新。

1. 建筑结构“轻型化”

目前我国高层建筑采用的普通钢筋混凝土材料总的来讲自重偏大，因此减轻建筑物的自重是非常有必要的。减轻自重有利于减小构件截面、节约建筑材料；有利于减小基础投资；有利于改善结构抗震性能等。除了可以通过选用合理的楼盖形式、尽量减轻墙体的重量等措施外，还可以对承重构件采用轻质高强的结构材料，如钢材、轻骨料混凝土及高强混凝土等。

2. 柱网、开间扩大化

为了使高层建筑能充分利用建筑空间、降低造价，应从建筑和结构两个方面着手扩大空间利用率，不但从建筑上布置大柱网，而且从结构功能出发，尽量满足大空间的要求。当然，柱网、开间的尺寸并不是越大越好，而是以满足建筑使用功能为度，并同时以满足结构承载力与侧移控制为原则。

3. 结构转换层

集吃、住、办公、娱乐、购物、停车等为一体的多功能综合性高层建筑，已经成为现代高层建筑的一大趋势。其结构特点是下层部分是大柱网，而较小柱网多设于中、上层部分。由于不同建筑使用功能要求不同的空间划分布置，相应地，要求不同的结构形式之间通过合理地转换过渡，沿竖向组合在一起，就成为多功能综合性高层建筑结构体系的关键技术。这对高层建筑结构设计提出了新的问题，需要设置一种称为“转换层”的结构形式，来完成上下不同柱网、不同开间、不同结构形式的转换，这种转换层广泛应用于剪力墙结构及框架-剪力墙等结构体系中。

4. 结构体系巨型化

当前无论国内还是国外，高层建筑的高度都在大幅度增长，其趋势是越来越高。面对

这种情况，一般传统的三种结构体系框架、剪力墙、框架-剪力墙结构体系已经难以满足要求，需要能适应超高、更加经济有效的抗风、抗震结构体系。近年来，为适应发展需要，一些超高层建筑工程实践中已成功应用了一些新型的结构体系，如巨型框架结构体系、巨型支撑结构体系等，根据其主要特点，可归结为“结构巨型化”。

5. 型钢混凝土的应用

型钢混凝土结构又称钢骨混凝土结构。它是指梁、柱、墙等杆件和构件以型钢为骨架，外包钢筋混凝土所形成的组合结构。在这种结构体系中，钢筋混凝土与型钢形成整体共同受力；而包裹在型钢外面的钢筋混凝土不仅在刚度和强度上发挥作用，且可以取代型钢外涂的防锈和防火材料，使材料更耐久，如图 11.2 所示。随着我国钢产量迅速增加，高层建筑层数增多，高度加大，要求更为复杂，加之型钢混凝土截面小、质量轻、抗震性能好，因而钢已从局部应用发展到在多个楼层，甚至整座建筑的主要结构均采用型钢混凝土。对于型钢混凝土结构，可供选择的结构体系更加广泛。凡是适用于全钢结构和混凝土与钢的混合结构的各种结构体系，均可采用型钢混凝土结构。

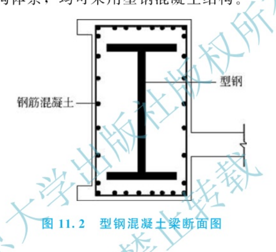


图 11.2　型钢混凝土梁断面图

11.2　多高层建筑结构体系的总体布置原则

所谓规则结构，一般指体型(平面和立面)规则，结构平面布置均匀、对称并具有较好的抗扭刚度；结构竖向布置均匀，结构的刚度、承载力和质量分布均匀，无突变的结构。

高层建筑的结构体系应符合下列要求。

(1) 结构的竖向和水平布置宜具有合理的刚度和承载力分布，避免因局部突变和扭转效应而形成薄弱部位。

(2) 宜具有多道抗震防线。

除此之外，高层建筑结构体系还应注意以下几方面。

1. 结构平面形状

平面布置简单、规则、对齐、对称，宜采用方形、矩形、圆形、Y 形等有利于抵抗水平荷载的建筑平面。尤其对于有抗震要求的结构，其平面应力求简单，对于复杂、不规

则、不对称的结构会难于计算和处理，在拐角处往往是应力比较集中的部位。因此平面布置不宜采用角部重叠的平面图形或腰形平面图形，且平面长度不宜过长，突出部分长度不宜过大，如图 11.3 所示，其值应满足表 11－1 的要求。

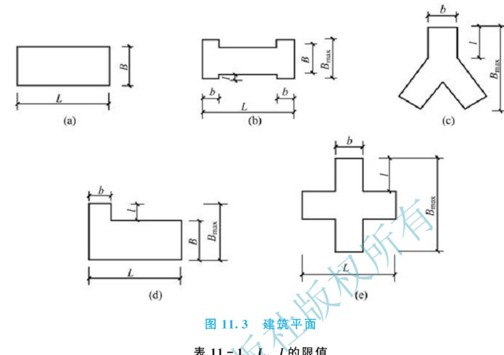


图 11.3 建筑平面

表 11－1 L、l 的限值

设防烈度	L/B	l/B_{max}	l/b
6、7 度	≤6.0	≤0.35	≤2.0
8、9 度	≤5.0	≤0.30	≤1.5

综上所述，无论是哪一种平面，都应尽量用规则、简单、对称的形状，尽量减少复杂受力和扭转受力。

2. 结构竖向布置

沿结构竖向布置时应注意结构的刚度和质量分布均匀，不要发生过大的突变，尽量避免夹层、错层和抽柱(墙)等现象，否则对结构的受力极为不利。对有抗震设防要求的高层建筑，竖向体型应力求规则、均匀，避免有过大的外挑和内收，结构的侧向刚度宜下大上小，变化均匀。无论采用何种结构体系，结构的平面和竖向布置都应使结构具有合理的刚度和承载力分布，避免因局部突变和扭转效应而形成薄弱部位；对可能出现的薄弱部位，在设计中应采取有效措施，增强其抗震能力；宜具有多道防线，避免因部分结构或构件的破坏而导致整个结构丧失承受水平风荷载、地震作用和重力荷载的能力。

3. 控制结构的适用高度和高宽比

钢筋混凝土高层建筑结构的最大适用高度应区分为 A 级和 B 级。A 级高度钢筋混凝土高层建筑指符合表 11－2(a)最大适用高度的建筑，也是目前数量最多，应用最广泛的建筑。当框架-剪力墙、剪力墙及筒体结构的高度超出表 11－2(a)的最大适用高度时，列入 B 级高度高层建筑，但其房屋高度不应超过表 11－2(b)规定的最大适用高度，并应遵守本规程规定的更严格的计算和构造措施。

A 级高度钢筋混凝土乙类和丙类高层建筑的最大适用高度应符合表 11－2 的规定，B 级高度钢筋混凝土乙类和丙类高层建筑的最大适用高度应符合表 11－3 的规定。

平面和竖向均不规则的高层建筑结构，其最大适用高度应适当降低。

表 11－2　A 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度(m)

结构体系		抗震设防烈度				
		6 度	7 度	8 度		9 度
				0.20g	0.30g	
框架		60	50	40	35	24
框架-剪力墙		130	120	100	80	50
剪力墙	全部落地剪力墙	140	120	100	80	60
	部分框支剪力墙	120	100	80	50	不应采用
筒体	框架-核心筒	150	130	100	90	70
	筒中筒	180	150	120	100	80
板柱-剪力墙		80	70	55	40	不应采用

注：(1) 表中框架不含异形柱框架。
(2) 部分框支剪力墙结构指地面以上有部分框支剪力墙的剪力墙结构。
(3) 甲类建筑，6、7、8 度时宜按本地区抗震设防烈度提高 1 度后符合本表的要求，9 度时应专门研究。
(4) 框架结构、板柱-剪力墙结构以及 9 度抗震设防的表列其他结构，当房屋高度超过表中数值时，结构设计应有可靠依据，并采取有效的加强措施。

表 11－3　B 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度(m)

结构体系		抗震设防烈度			
		6 度	7 度	8 度	
				0.20g	0.30g
框架-剪力墙		160	140	120	100
剪力墙	全部落地剪力墙	170	150	130	110
	部分框支剪力墙	140	120	100	80
筒体	框架-核心筒	210	180	140	120
	筒中筒	280	230	170	150

注：(1) 部分框支剪力墙结构指地面以上有部分框支剪力墙的剪力墙结构。
(2) 甲类建筑在 6、7 度时，宜按本地区设防烈度提高 1 度后符合本表的要求，8 度时应专门研究。
(3) 当房屋高度超过表中数值时，结构设计应有可靠依据，并采取有效措施。

特别提示

为保证 B 级高度高层建筑的设计质量，抗震设计的 B 级高度的高层建筑，按有关规定应进行超限高层建筑工程抗震设防专项审查复核。

高层建筑的高宽比(H/B)不宜超过表11-4的限值，其中H指建筑物地面到檐口的高度，B为建筑物平面的短方向总宽。控制高宽比的目的是控制结构刚度及侧向位移。

表11-4 钢筋混凝土高层建筑结构适用的高宽比

结构体系	抗震设防烈度		
	6度、7度	8度	9度
框架	4	3	—
板柱-剪力墙	5	4	—
框架-剪力墙、剪力墙	6	5	4
框架-核心筒	7	6	4
筒中筒	8	7	5

4. 减少偏心

结构的刚心、质心应尽可能地和水平外力合力的作用点重合，减少偏心，否则应考虑其扭转不利的影响，有时因此要付出很高的代价。

5. 变形缝的合理设置及构造

对于一般的多层结构，考虑到沉降、温度收缩和体型复杂对房屋结构的不利影响，常采用沉降缝、伸缩缝和防震缝将房屋分成若干独立的部分。

对于高层建筑结构，应尽量不设或少设缝，目前的趋势是避免设缝，从总体布置上或构造上采取一些相应的措施来减少沉降、温度收缩和体型复杂引起的问题。如优先采用平面布置简单、长度不大的结构；体型复杂时，可以采取加强结构整体性的措施(加强连接板处楼板配筋，避免在连接部位的楼板内开洞等)。

当建筑物平面形状复杂而又无法调整其平面形状和结构布置使之成为较规则的结构时，宜设置防震缝将其划分为较简单的几个结构单元。为以下情况时宜设防震缝，如图11.4所示。

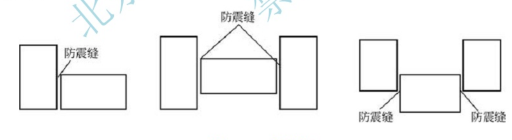


图11.4 防震缝

(1) 平面各项尺寸超过表11-1的限值而无加强措施者。

(2) 房屋有较大错层者，且楼面高差较大处。

(3) 房屋各部分结构的刚度、高度或荷载相差悬殊而又未采取有效措施者。

(4) 当必须设缝时，其伸缩缝、沉降缝均应符合防震缝宽度的要求。《高规》规定，高层建筑混凝土结构，当必须设置防震缝时，其最小宽度应符合下列要求。

① 框架结构房屋高度不超过15m时不应小于100mm；超过15m时，6度、7度、8度和9度，分别每增加5m、4m、3m和2m的高度，宜加宽20mm。

② 框架-剪力墙结构房屋不应小于第①项规定数值的70%，剪力墙结构房屋不小于第①项规定数值的50%，且两者均不宜小于100mm。

③ 防震缝两侧结构体系不同时，防震缝宽度应按不利的结构类型确定；防震缝两侧的房屋高度不同时，防震缝宽度可按较低的房屋高度确定。

④ 8、9 度框架结构房屋防震缝两侧结构层高相差较大时，防震缝两侧框架柱的箍筋应沿房屋全高加密，并可根据需要在缝两侧沿房屋全高各设置不少于两道垂直于防震缝的抗撞墙。

⑤ 当相邻结构的基础存在较大沉降差时，宜增大防震缝的宽度。

⑥ 防震缝宜沿房屋全高设置；地下室、基础可不设防震缝，但在与上部防震缝对应处应加强构造和连接。

⑦ 结构单元之间或主楼与裙房之间如无可靠措施，不应采用牛腿托梁的做法设置防震缝。

(5) 抗震设计时，伸缩缝、沉降缝的宽度均应符合《高规》关于防震缝宽度的要求。高层建筑结构伸缩缝的最大间距宜符合表 11－5 的规定。

表 11－5　伸缩缝的最大间距

结构体系	施工方法	最大间距/m
框架结构	现浇	55
剪力墙结构	现浇	45

注：(1) 框架-剪力墙的伸缩缝间距可根据结构的具体布置情况取表中框架结构与剪力墙结构之间的数值。

(2) 当屋面无保温或隔热措施、混凝土的收缩较大或室内结构因施工外露时间较长时，伸缩缝的间距应适当减小。

(3) 位于气候干燥地区、夏季炎热且暴雨频繁地区的结构，伸缩缝的间距宜适当减小。

当采用有效的构造措施和施工措施减少温度和混凝土收缩对结构的影响时，可适当放宽伸缩缝的间距。这些措施包括但不限于下列方面。

① 顶层、底层、山墙和纵墙端开间等温度变化影响较大的部位提高配筋率。

② 顶层加强保温隔热措施，外墙设置外保温层。

③ 每 30～40m 间距留出施工后浇带，带宽 800～1000mm，钢筋采用搭接接头，后浇带混凝土宜在两个月后浇灌。

④ 采用收缩小的水泥，减少水泥用量，在混凝土中加入适宜的外加剂。

⑤ 提高每层楼板的构造配筋率或采用部分预应力结构。

11.3　剪力墙结构

引例

随着房屋高度的增加，结构荷载也在增大，结构形式随之发生改变，高层建筑中通常采用框架-剪力墙结构或剪力墙结构。图 11.5 为某框架-剪力墙结构平面示意；图 11.6 为某高层住宅标准层平面建筑施工图的局部，其结构形式采用剪力墙结构，平面图中墙体涂

黑部分为剪力墙；图 11.7 为与之配套的剪力墙结构施工图。本模块将简单介绍剪力墙结构及框架-剪力墙结构的构造要求及其施工图的识读。

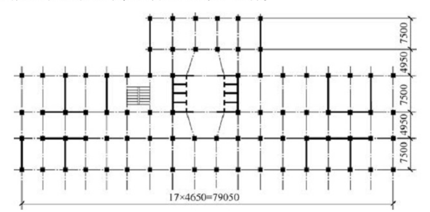


图 11.5 某框架-剪力墙结构平面示意

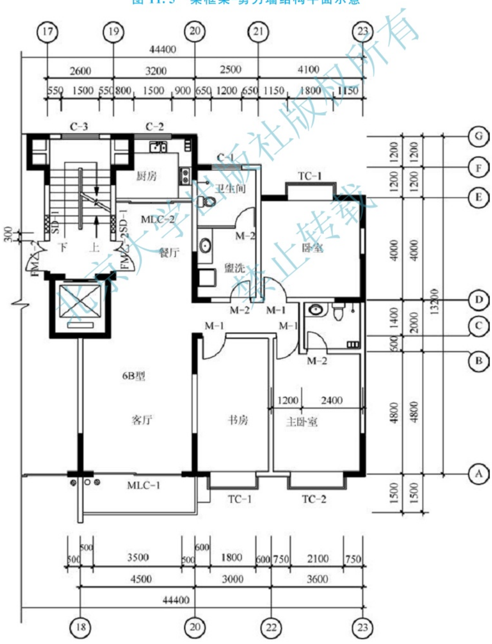


图 11.6 某高层住宅标准层建筑平面图(局部)

(m) 层高	(m) 标高	层号
	42.25	水箱间屋面
3.90	38.35	水箱间
2.90	35.45	屋面
2.90	32.55	12
2.90	29.65	11
2.90	26.75	10
2.90	23.85	9
2.90	20.95	8
2.90	18.05	7
2.90	15.15	6
2.90	12.25	5
2.90	9.35	4
2.90	6.45	3
3.55	2.90	2
3.90	−1.00	1
2.20	−3.20	−1

附注：
1.混凝土强度等级：C30，钢筋：HPB300级钢（ϕ），HRB335级（Φ），HRB400级钢（Φ）。
2.剪力墙与填充墙采用2ϕ6@500（沿墙高）拉墙筋钢筋埋入剪力墙内不小于250，伸入墙内不小于墙长的1/5且不小于700。
3.剪力墙配筋注写规则及配筋构造详见标准图集《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》（16G101—1），抗震设防烈度为7度，抗震等级为三级。
4.施工时与电气专业密切配合，引下线，测试板具体位置详见电气施工图。

剪力墙平法施工图（二）　　图中未编号的剪力墙均为Q1，剪力墙厚均为200mm

图 11.7　某高层住宅标准层剪力墙平法施工图(局部)

11.3.1　剪力墙抗震构造措施



【剪力墙支模构造】

由钢筋混凝土墙体构成的承重体系称为剪力墙结构。剪力墙又称抗风墙、抗震墙或结构墙，是房屋中主要承受风荷载或地震作用引起的水平荷载的墙体，用以提高结构的抗侧力性能，防止结构发生剪切破坏。

在剪力墙内部，由于受力和配筋构造的不同，为方便表达，将剪力

墙分为剪力墙身、剪力墙梁和剪力墙柱三部分。剪力墙身主要配置竖向和水平分布钢筋。剪力墙梁主要配置上部纵筋、下部纵筋和箍筋。剪力墙柱主要配置纵向钢筋和箍筋。

在整个高层剪力墙结构的底部，为保证出现塑性铰时有足够的延性，达到耗能的目的，剪力墙底部应设置加强区。从原则上来说，出现塑性铰的范围就是剪力墙的加强范围。

1. 现浇钢筋混凝土抗震墙房屋的最大适用高度及抗震等级

(1) 现浇钢筋混凝土抗震墙房屋的最大适用高度应符合表 11-6 的要求。

表 11-6 现浇钢筋混凝土抗震墙房屋的最大适用高度(m)

结构类型	设防烈度				
	6	7	8(0.2*g*)	8(0.3*g*)	9
剪力墙结构	140	120	100	80	60

(2) 钢筋混凝土房屋应根据设防类别、烈度、结构类型和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。丙类抗震墙房屋的抗震等级应按表 11-7 确定。

表 11-7 现浇钢筋混凝土抗震墙房屋的抗震等级

结构类型		设防烈度									
		6		7			8			9	
剪力墙结构	高度/m	≤80	>80	≤24	25~80	>80	≤24	25~80	>80	≤24	25~60
	剪力墙	四	三	四	三	二	三	二	一	二	一

2. 剪力墙的厚度

(1) 剪力墙的厚度，当结构抗震等级为一、二级时不应小于 160mm 且不宜小于层高或无支长度(图 11.8)的 1/20，三、四级不应小于 140mm 且不宜小于层高或无支长度的 1/25；无端柱或翼墙时，一、二级不宜小于层高或无支长度的 1/16，三、四级不宜小于层高或无支长度的 1/20。

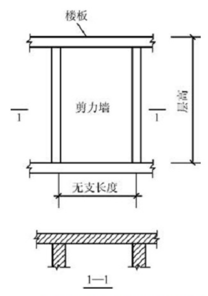


图 11.8 剪力墙的层高与无支长度示意

底部加强部位的墙厚，一、二级不应小于200mm且不宜小于层高或无支长度的1/16，三、四级不应小于160mm且不宜小于层高或无支长度的1/20；无端柱或翼墙时，一、二级不宜小于层高或无支长度的1/12，三、四级不宜小于层高或无支长度的1/16。

(2) 剪力墙厚度大于140mm时，竖向和水平分布钢筋应双排布置；双排分布钢筋间拉筋的间距不应大于600mm，直径不应小于6mm；在底部加强部位，边缘构件以外的拉筋间距应适当加密。

3. 剪力墙钢筋的锚固和连接

(1) 剪力墙钢筋的锚固。非抗震设计时，剪力墙纵向钢筋最小锚固长度应取 l_a；抗震设计时，剪力墙纵向钢筋最小锚固长度应取 l_{aE}。l_a、l_{aE}的取值见模块2。

(2) 剪力墙钢筋的连接。

① 墙竖向分布钢筋可在同一高度搭接，搭接长度不应小于 $1.2l_a$。

② 墙水平分布钢筋的搭接长度不应小于 $1.2l_a$。同排水平分布钢筋的搭接接头之间以及上、下相邻水平分布钢筋的搭接接头之间，沿水平方向的净距不宜小于500mm(图11.9)。

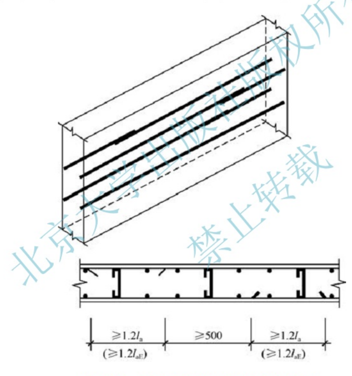


图11.9　剪力墙内水平分布钢筋的连接

③ 墙中水平分布钢筋应伸至墙端，并向内水平弯折10d（d为钢筋直径）。

④ 当剪力墙端部有翼墙[图11.11(c)、图11.12(c)]或转角墙[图11.11(d)、图11.12(d)]时，内墙两侧和外墙内侧的水平分布钢筋应伸至翼墙或转角墙外边，并分别向两侧水平弯折15d。在转角墙处，外墙外侧的水平分布钢筋应在墙端外角处弯入翼墙，并与翼墙外侧的水平分布钢筋搭接。

⑤ 带边框的墙，水平和竖向分布钢筋宜分别贯穿柱、梁或锚固在柱、梁内。

⑥ 暗柱[图11.11(a)、图11.12(a)]、端柱[图11.11(b)、图11.12(b)]等剪力墙边缘构件内纵向钢筋连接和锚固要求宜与框架柱相同。

⑦ 连梁内纵向钢筋连接和锚固要求宜与框架梁相同。

⑧ 抗震设计时，墙水平及竖向分布钢筋搭接长度应取 $1.2l_{aE}$。一级、二级抗震等级剪力墙的加强部位，接头位置应错开，每次连接的钢筋数量不宜超过总数量的 50%，错开的净距离不宜小于 500mm。



知识链接

钢筋的连接

高层建筑施工应优先采用钢筋机械连接和焊接，钢筋绑扎连接质量不可靠且浪费钢筋，应限制使用。

4. 剪力墙身构造

(1) 一、二、三级抗震等级剪力墙的竖向和水平分布钢筋最小配筋率均不应小于 0.25%，四级抗震等级剪力墙不应小于 0.20%。

(2) 部分框支剪力墙结构的落地剪力墙底部加强部位，竖向及水平分布钢筋配筋率均不应小于 0.3%，钢筋间距不宜大于 200mm。

(3) 剪力墙钢筋最大间距不宜大于 300mm；竖向和水平分布钢筋的直径，均不宜大于墙厚的 1/10 且不应小于 8mm；竖向钢筋直径不宜小于 10mm。

5. 剪力墙柱构造

(1) 剪力墙柱的设置。剪力墙柱也称边缘构件，边缘构件包括暗柱、端柱、翼墙和转角墙。其实质是剪力墙两端及洞口两侧等边缘的集中配筋加强部位。剪力墙边缘构件分为约束边缘构件和构造边缘构件，按结构抗震等级划分。剪力墙两端及洞口两侧应设置边缘构件，边缘构件设置宜符合下列要求。

① 一、二、三级抗震等级的剪力墙，在重力荷载代表值作用下，当墙肢底截面轴压比大于表 11-8 的规定时，其底部加强部位及其以上一层墙肢应按规定设置约束边缘构件；当墙肢轴压比不大于表 11-8 规定时，可按规定设置构造边缘构件。

表 11-8 剪力墙设置构造边缘构件的最大轴压比

抗震等级或设防烈度	一级(9 度)	一级(7、8 度)	二、三级
轴压比	0.1	0.2	0.3

知识链接

(1) 轴压比：轴压比 $N/(f_cA)$是指墙（柱)的轴向压力设计值与墙（柱)的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积的比值。它反映了墙（柱)的受压情况，轴压比越大，构件的延性越差，在地震作用下呈破坏脆性。限制墙（柱)轴压比主要是为了控制墙（柱)的延性。

(2) 剪力墙墙肢：剪力墙在水平荷载作用下的工作特点主要取决于墙体上所开洞口的大小。墙面上不开洞或洞口极小(洞口面积不超过墙面总表面积 15%)的墙，可视为嵌固于基础顶面的悬臂深梁；当墙面上开有整齐规则的洞口且洞口大小适中时，由洞口分开的左、右剪力墙便形成了两个墙肢，洞口上、下间墙体称为连梁，通过它把左、右墙肢联系起来，如图 11.10 所示。

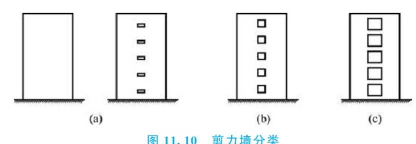


图 11.10 剪力墙分类

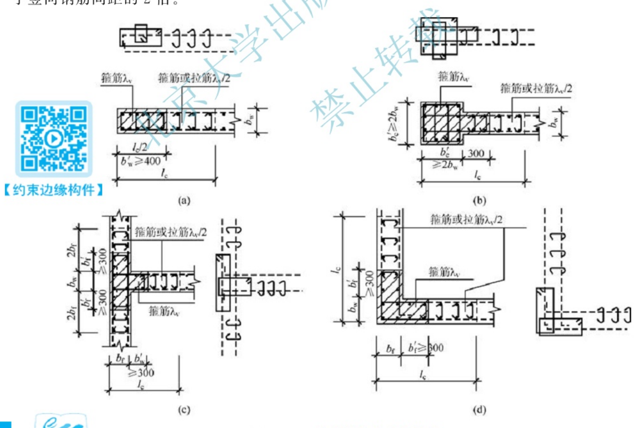
(a)整体墙;(b)组合整体墙;(c)联肢墙

② 部分框支剪力墙结构中，一、二、三级抗震等级落地剪力墙的底部加强部位及以上一层的墙肢两端，宜设置翼墙或端柱，并应按规定设置约束边缘构件；不落地的剪力墙，应在底部加强部位及相邻的上一层剪力墙的墙肢两端设置约束边缘构件。

③ 一、二、三级抗震等级的剪力墙的一般部位剪力墙以及四级抗震等级剪力墙，应按规定设置构造边缘构件。

(2) 剪力墙端部约束边缘构件(墙柱)的构造规定。约束边缘构件沿墙肢的长度和配箍特征值应符合表 11-9 的要求。一、二、三级抗震等级的剪力墙约束边缘构件的纵向钢筋的截面面积，对图 11.11 所示的暗柱、端柱、翼墙与转角墙，分别不应小于图中阴影部分面积的 1.2%、1.0%和 1.0%。

约束边缘构件的箍筋或拉筋沿竖向的间距，对一级抗震等级不宜大于 100mm，对二、三级抗震等级不宜大于 150mm；箍筋、拉筋沿水平方向的肢距不宜大于 300mm，不应大于竖向钢筋间距的 2 倍。



【约束边缘构件】



图 11.11 剪力墙约束边缘构件

(a)暗柱；(b)端柱；(c)翼墙；(d)转角墙

表 11－9　约束边缘构件沿墙肢的长度 l_c和配箍特征值 λ_v

抗震等级(设防烈度)		一级(9 度)		一级(7、8 度)		二级、三级	
轴压比		≤0.2	＞0.2	≤0.3	＞0.3	≤0.4	＞0.3
λ_v		0.12	0.20	0.12	0.20	0.12	0.20
l_c	暗柱	$0.20h_w$	$0.25h_w$	$0.15h_w$	$0.20h_w$	$0.15h_w$	$0.20h_w$
	端柱、翼墙或转角墙	$0.15h_w$	$0.20h_w$	$0.10h_w$	$0.15h_w$	$0.10h_w$	$0.15h_w$

注：表中 h_w为剪力墙墙肢截面高度。

(3) 剪力墙端部构造边缘构件(墙柱)的构造规定。剪力墙端部构造边缘构件的设置范围，应按图 11.12 采用。构造边缘构件包括暗柱、端柱、翼墙和转角墙。构造边缘构件的配筋应满足受弯承载力要求，并应符合表 11－10 的要求。箍筋的无支长度不应大于 300mm，拉筋的水平间距不应大于竖向钢筋间距的 2 倍。当剪力墙端部为端柱时，端柱中纵向钢筋及箍筋宜按框架柱的构造要求配置。


【构造边缘构件】

非抗震设计的剪力墙，墙肢端部应配置不少于 4Φ12 的纵向钢筋，箍筋直径不应小于 6mm、间距不宜大于 250mm。

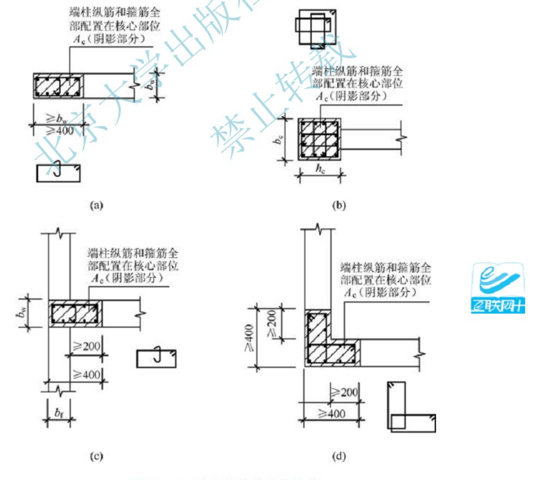


图 11.12　剪力墙构造边缘构件

(a)暗柱；(b)端柱；(c)翼墙；(d)转角墙

表 11-10　构造边缘构件的构造配筋要求

抗震等级	底部加强部位			其他部位		
	纵向钢筋最小配筋量(取较大值)	箍筋		纵向钢筋最小配筋量(取较大值)	拉筋	
		最小直径/mm	沿竖向最大间距/mm		最小直径/mm	沿竖向最大间距/mm
一	$0.010A_c$，6 Φ16	8	100	$0.008A_C$，6 Φ14	8	150
二	$0.008A_c$，6 Φ14	8	150	$0.006A_C$，6 Φ12	8	200
三	$0.006A_c$，6 Φ12	6	150	$0.005A_C$，4 Φ12	6	200
四	$0.005A_c$，4 Φ12	6	200	$0.004A_C$，4 Φ12	6	250

注：(1) 表中 A_c为图 11.12 中所示的阴影面积。

(2) 对其他部位，拉筋的水平间距不应大于纵向钢筋间距的 2 倍，转角处宜设置箍筋。

(3) 当端柱承受集中荷载时，应满足框架柱的配筋要求。

6. 剪力墙梁构造

剪力墙梁包括连梁、暗梁、边框梁。其中连梁的作用是将两侧的剪力墙肢连接在一起，共同抵抗地震作用，受力原理与一般的梁有很大区别；而暗梁和边框梁则不属于受弯构件，它们实质上是剪力墙在楼层位置的水平加强带。

1) 连梁的配筋形式

连梁内的钢筋包括上部纵向钢筋、下部纵向钢筋、箍筋、斜筋。连梁中配置斜筋的主要作用是，当连梁跨高比较小(即为短连梁)时，改善连梁的延性，提高其抗剪承载力。斜筋在连梁中的配筋形式有：交叉斜筋配筋连梁(图 11.13)、集中对角斜筋配筋连梁(图 11.14)、对角暗撑配筋连梁(图 11.15)。

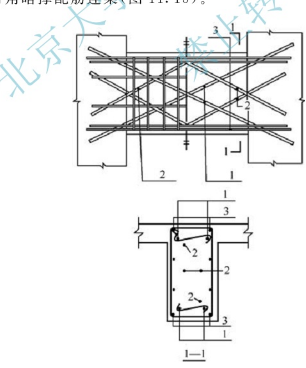






图 11.13　交叉斜筋配筋连梁

1—对角斜筋；2—折线筋；3—纵向钢筋

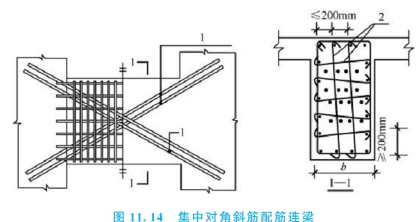
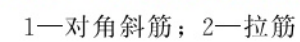


图 11.14 集中对角斜筋配筋连梁


1—对角斜筋；2—拉筋

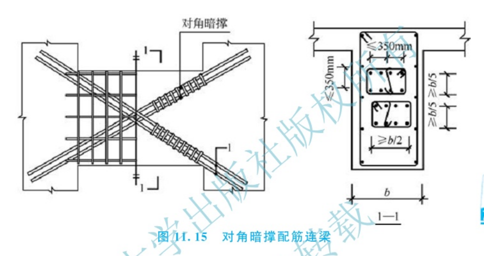


图 11.15 对角暗撑配筋连梁

2）连梁的配筋构造应满足的要求

（1）连梁上、下部单侧纵筋的最小配筋率不应小于 0.15%，且配筋不宜少于 2Φ12；交叉斜筋配筋连梁单项对角斜筋不宜少于 2Φ12，单组折线筋的截面面积可取为单项对角斜筋截面面积的一半，且直径不宜小于 12mm；集中对角斜筋配筋连梁和对角暗撑连梁中每组对角斜筋应至少由 4 根直径不小于 14mm 的钢筋组成。

（2）交叉斜筋配筋连梁的对角斜筋在梁端部位应设置不少于 3 根拉筋，拉筋的间距不应大于连梁宽度和 200mm 的较小值，直径不应小于 6mm；集中对角斜筋配筋连梁应在梁截面内沿水平方向及竖直方向设置双向拉筋，拉筋应勾住外侧纵向钢筋，间距不应大于 200mm，直径不应小于 8mm；对角暗撑配筋连梁中暗撑箍筋的外缘沿梁截面宽度方向不宜小于梁宽的一半，另一方向不宜小于梁宽的 1/5；对角暗撑约束箍筋的间距不宜大于暗撑钢筋直径的 6 倍，当计算间距小于 100mm 时可取 100mm，箍筋肢距不应大于 350mm。

除集中对角斜筋配筋连梁以外，其余连梁的水平钢筋及箍筋形成的钢筋网之间应采用拉筋拉结，拉筋直径不宜小于 6mm，间距不宜大于 400mm。

（3）连梁纵向受力钢筋、交叉斜筋伸入墙内的锚固长度不应小于 l_{aE}（非抗震时为 l_a），且不应小于 600mm；顶层连梁纵向钢筋伸入墙体的长度范围内，应配置间距不大于 150mm 的构造箍筋，箍筋直径应与该连梁的箍筋直径相同(图 11.16)。

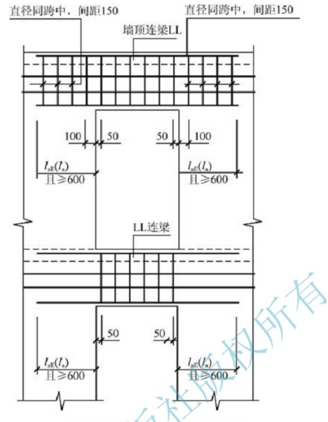




图 11.16 连梁纵筋配筋构造

(4) 剪力墙的水平分布钢筋可作为连梁的纵向构造钢筋在连梁范围内贯通。当梁的腹板高度 h_w 不小于 450mm 时，其两侧面沿梁高范围设置的纵向构造钢筋的直径不应小于 10mm，间距不应大于 200mm；对跨高比不大于 2.5 的连梁，梁两侧的纵向构造钢筋(腰筋)的面积配筋率尚不应小于 0.3%。

(5) 抗震设计时，沿连梁全长箍筋的构造应按框架梁抗震设计时梁端加密区箍筋的构造要求采用；对角暗撑配筋连梁沿连梁全长箍筋的间距按抗震框架梁加密箍筋间距的 2 倍取用。非抗震设计时，沿连梁全长的箍筋直径不应小于 6mm，间距不应大于 150mm。

(6) 根据连梁不同的截面宽度，连梁拉筋直径和间距的规定：当连梁截面宽度≤350mm 时，拉筋直径为 6mm；当连梁截面宽度>350mm 时，拉筋直径为 8mm；拉筋水平间距为两倍连梁箍筋间距(隔一拉一)，拉筋竖向间距为两倍连梁侧面水平构造钢筋间距(隔一拉一)。

7. 剪力墙墙面开洞和连梁开洞构造规定

剪力墙墙面开洞和连梁开洞时，应符合下列要求。

(1) 当剪力墙墙面开有非连续小洞口(其各边长度不大于 800mm)，且在整体计算中不考虑其影响时，应将洞口处被截断的分布筋量分别集中配置在洞口上、下侧和左、右两边[图 11.17(a)]，按每边 2 根钢筋直径不应小于 12mm，且不小于同向被切断纵向钢筋总面积的 50%补强。纵向钢筋自洞边伸入墙内的长度不应小于受拉钢筋的锚固长度。

(2) 穿过连梁的管道宜预埋套管，洞口上、下的有效高度不宜小于梁高的 1/3，且不宜小于 200mm，被洞口削弱的截面应进行承载力验算，洞口处应配置补强纵向钢筋和箍筋[图 11.17(b)]，补强纵向钢筋的直径不应小于 12mm。

按每边配置两根直径不小于12mm，且不小于同向被切断纵向钢筋总面积的50%补强

(a)

洞口每侧补强纵筋与补强箍筋由设计确定

箍筋

(b)

【剪力墙洞口配筋】

图 11.17 洞口补强配筋示意图

(a)剪力墙洞口补强；(b)连梁洞口补强

11.3.2 剪力墙结构施工图

剪力墙平法施工图的表达方式有两种，即截面注写方式和列表注写方式。本例采用截面注写方式表达。截面注写方法是一种综合表达方式，其中剪力墙的墙柱是在结构平面布置图墙柱的原位置处绘制截面形状、尺寸及配筋，属于完全截面注写，但剪力墙的墙身和墙梁不需要绘制配筋，所以采用了平面注写的方式。

剪力墙的定位，沿水平方向，平面图中应标出剪力墙截面尺寸与定位轴线的位置关系；沿高度方向，平面图中要加注各结构层的楼面标高及相应的结构层号，通常以列表形式表达。

下面分述剪力墙各组成部分墙柱、墙身、墙梁的平法施工图截面注写表达方式。

1. 剪力墙柱

1）墙柱的编号

由墙柱类型代号和序号组成，表达形式应符合表 11－11 的规定。

表 11-11　墙柱编号

墙柱类型	代　　号	序　　号
约束边缘构件	YBZ	××
构造边缘构件	GBZ	××
非边缘暗柱	AZ	××
扶壁柱	FBZ	××

注：约束边缘构件包括约束边缘暗柱、约束边缘端柱、约束边缘翼墙、约束边缘转角墙四种(图 11.18)。构造边缘构件包括构造边缘暗柱、构造边缘端柱、构造边缘翼墙、构造边缘转角墙四种(图 11.19)。

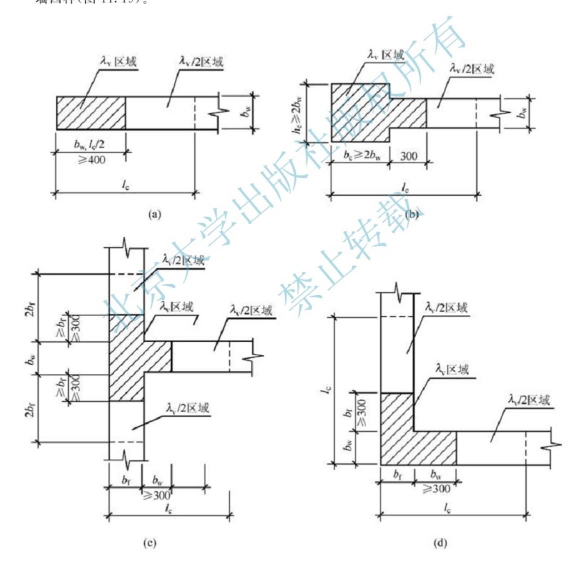


图 11.18　约束边缘构件

(a)约束边缘暗柱；(b)约束边缘端柱；(c)约束边缘翼墙；(d)约束边缘转角墙

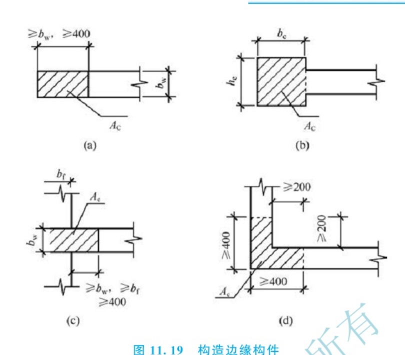


图 11.19 构造边缘构件

(a)构造边缘暗柱；(b)构造边缘端柱；(c)构造边缘翼墙；(d)构造边缘转角墙

2）截面注写方式内容

从相同编号的墙柱中选择一个截面，在原位选用适当比例放大绘制墙柱截面图，注明几何尺寸，标注全部纵筋及箍筋的具体数值。具体注写如下。

(1) 墙柱编号：见表 11-11。

(2) 墙柱竖向配筋：$n\Phi d$(n 为根数，d 为直径)。

(3) 墙柱阴影区箍筋/墙柱非阴影区拉筋：Φ××@×××/Φ××。

3）识图举例

引例图中的墙柱 GBZ13(图 11.20)，根据集中标注的内容可以看出，该墙柱属于构造边缘转角墙，序号为 13；纵向钢筋为 2Φ16＋12Φ12，其中 2Φ16 钢筋的位置已标出；沿柱高的箍筋为Φ8@150，图中的单肢箍直径和间距与封闭的矩形箍筋一致。从图 11.7 的楼层标高和层高表中加粗的部分可以看出，GBZ13 沿高度方向的定位在第 3 层到第 11 层，标高从 6.45m 到 32.55m。

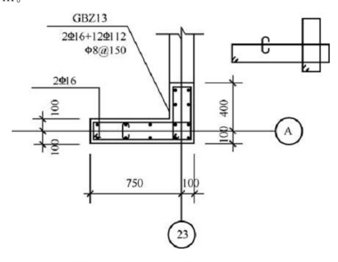


图 11.20 墙柱 GBZ13 截面注写配筋图

2. 剪力墙身

墙身编号，由墙身代号、序号及墙身所配置的水平与竖向分布钢筋的排数组成，其中排数注写在括号内。表达形式为：Q1(2 排)，其中 1 为编号，括号中的 2 代表钢筋排数。

识图举例：引例图中的墙身 Q1(图 11.21)，采用的是平面注写方式，为表达清楚，将 Q1 配筋图绘出，如图 11.22、图 11.23 所示，以便对照识读。

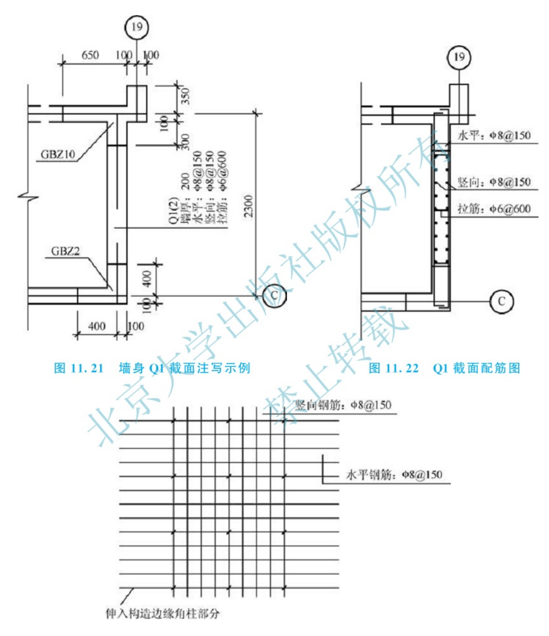


图 11.21　墙身 Q1 截面注写示例

图 11.22　Q1 截面配筋图

图 11.23　剪力墙 Q1 墙身拉筋分布示意

3. 剪力墙梁

1）墙梁集中注写内容

在选定进行标注的墙梁上依次集中注写以下各项。

(1) 墙梁编号，由墙梁类型代号和序号组成，见表 11－12。

表 11－12　剪力墙梁编号

墙梁类型	代　号	序　号
连梁	LL	××
连梁(对角暗撑配筋)	LL(JC)	××
连梁(交叉斜筋配筋)	LL(JX)	××
连梁(集中对角斜筋配筋)	LL(DX)	
连梁(跨高比不小于 5)	LLK	××
暗梁	AL	××
边框梁	BKL	××

(2) 墙梁所在楼层号/(墙梁顶面相对标高高差)：××层至××层/(±×.×××)；墙梁顶面标高高差，系指相对于墙梁所在结构层楼面标高的高差值。高于者为正值，低于者为负值，当无高差时不注。

(3) 墙梁截面尺寸 $b \times h$/箍筋(肢数)：$b \times h$/Φ 直径@间距(肢数)。

(4) 上部纵筋；下部纵筋；侧面纵筋：根数Φ 直径；根数Φ 直径；根数Φ 直径。

(5) 当不同的梁截面尺寸不同，但梁顶面相对标高高差相同时，可将梁顶面标高高差注写在该项：(±×.×××)。

2) 识图举例

引例图中的墙梁 LL1(图 11.24)，截面尺寸 200mm×450mm，梁顶面标高与楼面结构层标高相同，故此处没有标高差。箍筋Φ8@100(HPB300 级钢筋)，双肢箍。梁腰两侧共有 2Φ10(HPB300 级钢筋)抗扭纵筋。4～8 层梁上部纵筋 3⌀18(HRB400 级钢筋)，下部纵筋 3⌀18；9～12 层梁上部纵筋 2⌀20(HRB400 级钢筋)，下部纵筋 2⌀20。

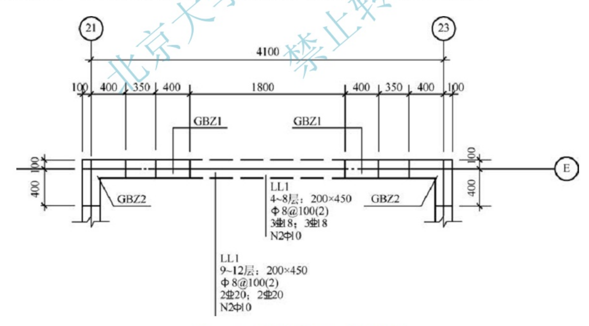


图 11.24　剪力墙梁 LL1 截面注写

为直观表达，将连梁 LL1 截面配筋详图绘出，见图 11.25，以便对照识读。图 11.25 中 LL1 纵向钢筋伸入剪力墙的锚固长度按构造要求为 l_{aE}；按构造要求，当梁宽≤350mm 时，梁侧面拉筋直径为 6mm，间距为两倍箍筋间距，故选 ⌀6@200。

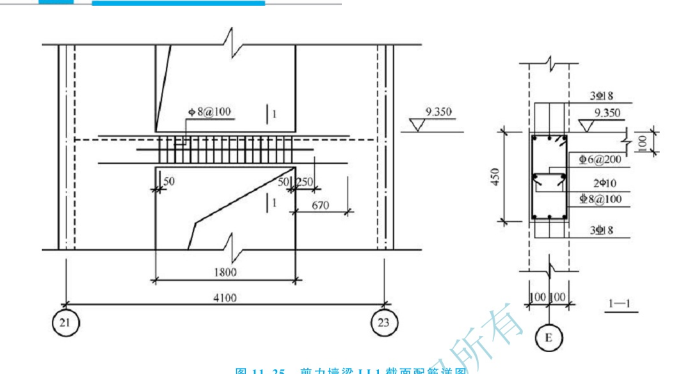


图 11.25 剪力墙梁 LL1 截面配筋详图

11.4 框架-剪力墙结构及筒体结构

11.4.1 框架-剪力墙结构特点

框架结构侧向刚度差，抵抗水平荷载能力较低，地震作用下变形大，但它具有平面灵活、有较大空间、立面处理易于变化等优点。而剪力墙结构则相反，抗侧力刚度、强度大，但限制了使用空间。把两者结合起来，取长补短，在框架中设置一些剪力墙，就成了框架-剪力墙结构。框架-剪力墙结构适用于需要灵活大空间的建筑，可应用于 10～20 层的高层建筑，如办公楼、商业大厦、饭店、旅馆、教学楼、实验楼、电信大楼、图书馆、多层工业厂房及仓库、车库等。

11.4.2 框架-剪力墙结构的构造要求

1. 现浇钢筋混凝土框架-剪力墙结构的最大适用高度（表 11-13）

表 11-13 现浇钢筋混凝土框架-剪力墙结构的最大适用高度(m)

结构类型	设防烈度				
	6	7	8(0.2g)	8(0.3g)	9
框架-剪力墙结构	130	120	100	80	50

2. 现浇钢筋混凝土框架-剪力墙结构的抗震等级（表 11-14）

表 11-14 现浇钢筋混凝土框架-剪力墙结构的抗震等级

结构类型		设防烈度									
		6		7			8			9	
框架-剪力墙结构	高度/m	≤60	>60	≤24	25～60	>60	≤24	25～60	>60	≤24	25～50
	框架	四	三	四	三	二	三	二	一	二	一
	剪力墙	三		三	二		二	一		一	

3. 构造要求

框架-剪力墙结构，除应满足一般框架、剪力墙的有关要求外，还应符合下列要求。

1）剪力墙的配筋构造要求

框架-剪力墙（板柱-剪力墙）结构中，剪力墙竖向和水平分布钢筋的配筋率，非抗震设计时配筋率均不宜小于 0.20%，钢筋直径不宜小于 8mm，间距不宜大于 300mm，当墙厚度大于 160mm 时应配置双排分布钢筋网；抗震设计时配筋率均不应小于 0.25%，钢筋直径不宜小于 10mm，间距不宜大于 300mm，并应双排布置。各排分布钢筋之间应设置拉筋，拉筋直径不宜小于 6mm，间距不宜大于 600mm。

2）带边框剪力墙的构造应符合的要求

（1）带边框剪力墙的截面厚度应符合下列规定：剪力墙的厚度不应小于 160mm，且不宜小于层高或无支长度的 1/20，底部加强部位的剪力墙厚度不应小于 200mm，且不宜小于层高或无支长度的 1/16。

（2）剪力墙的水平钢筋应全部锚入边框柱内，锚固长度不应小于 l_a（非抗震设计）或 l_{aE}（抗震设计）。

（3）带边框剪力墙的混凝土强度等级宜与边框柱相同。

（4）与剪力墙重合的框架梁可保留，亦可做成宽度与墙厚相同的暗梁，暗梁截面高度可取墙厚的 2 倍或与该片框架梁截面等高，暗梁的配筋可按构造配置且应符合一般框架梁相应抗震等级的最小配筋要求。

（5）剪力墙截面宜按工字形设计，其端部的纵向受力钢筋应配置在边框柱截面内。

（6）边框柱截面宜与该榀框架其他柱的截面相同，边框柱应符合模块 8 有关框架柱构造配筋的规定；剪力墙底部加强部位边框柱的箍筋宜沿全高加密；当带边框剪力墙上的洞口紧邻边框柱时，边框柱的箍筋宜沿全高加密。

特别提示

框架-剪力墙结构施工图的识读参阅框架结构和剪力墙结构施工图的识读方法和规则。

11.4.3 筒体结构抗震构造要求

框架-核心筒结构的抗震构造应符合下列要求。

(1) 核心筒宜贯通建筑物全高。核心筒的宽度不宜小于筒体总高的1/12，当筒体结构设置角筒、剪力墙或增强结构整体刚度的构件时，核心筒的宽度可适当减小。

(2) 核心筒应具有良好的整体性，并满足下列要求。

① 墙肢宜均匀、对称布置。

② 筒体角部附近不宜开洞，当不可避免时，筒角内壁至洞口的距离不应小于500mm和开洞墙的截面厚度。

③ 筒体墙应按《高规》附录D验算墙体稳定，且外墙厚度不应小于200mm，内墙厚度不应小于160mm，必要时可设置扶壁柱或扶壁墙。

④ 筒体墙的水平、竖向配筋不应少于两排。抗震设计时，核心筒主要墙体的底部加强部位水平和竖向分布钢筋的配筋率均不宜小于0.30%。

⑤ 进行抗震设计时，核心筒的连梁宜通过配置对角斜向钢筋或交叉暗撑、设水平缝或减小梁截面的高宽比等措施来提高连梁的延性。

(3) 框架-核心筒结构的周边柱间必须设置框架梁。

(4) 当内筒偏置、长宽比大于2时，宜采用框架-双筒结构。

(5) 当框架-双筒结构的双筒间楼板开洞时，其有效楼板宽度不宜小于楼板典型宽度的50%，洞口附近楼板应加厚，采用双层双向配筋，且每层单向配筋率不应小于0.25%；双筒间楼板应按弹性板进行细化分析。

(6) 在施工程序及连接构造上，应采取措施减小结构竖向温度变形及轴向压缩对加强层的影响。

小 结

(1) 在我国，10层及10层以上或高度大于28m的住宅建筑以及高度大于24m的其他民用房屋称为高层建筑，否则称为多层建筑。

(2) 多层与高层房屋常用的结构类型有混合结构、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构和筒体结构等。

(3) 多高层建筑承受的竖向荷载较大，同时还承受控制作用水平力。结构布置的合理性对多高层结构的经济性及施工的合理性影响较大，所以多高层建筑设计应该注重概念设计，重视结构选型与建筑平面、立面布置的规律性，选择最佳结构体系，加强构造措施以保证建筑结构的整体性，使整个结构具有必要的强度、刚度和变形能力。

(4) 利用建筑物的墙体作为竖向承重和抵抗侧力的结构称为剪力墙结构。剪力墙实质上是固结于基础的钢筋混凝土墙片，具有很高的抗侧移能力。因其既承担竖向荷载，又承担水平荷载——剪力，故称为剪力墙。由于受力和配筋构造不同，将

剪力墙划分为剪力墙身、剪力墙梁和剪力墙柱三部分。剪力墙的构造因此也细分为墙身、墙柱和墙梁的构造。在理解剪力墙身、墙柱和墙梁的构造要求时，可以对应参考钢筋混凝土板、梁和柱的构造要求。但是，归入剪力墙柱的端柱、暗柱等并不是普通概念上的柱，实质上是剪力墙边缘的集中配筋加强带；同样归入墙梁中的暗梁、边框梁实质上是剪力墙在楼层位置的水平加强带。

(5) 在框架结构中的适当部位增设一定数量的钢筋混凝土剪力墙，形成的框架和剪力墙结合在一起共同承受竖向和水平力的体系称为框架-剪力墙体系，简称框-剪体系。在水平荷载作用下，平面内刚度很大的楼盖将框架与剪力墙连接在一起。组成框架-剪力墙结构，两者协同一起工作，框架-剪力墙结构变形属于弯剪型。

(6) 剪力墙平法施工图的表达方式有两种：截面注写方式、列表注写方式。

习　题

一、填空题

1. ________是用不同的材料做成的构件组成的房屋。

2. 利用建筑物的墙体作为竖向承重和抵抗侧力的结构称为________。

3. 根据开孔的多少，筒体有________和________之分。

4. ________是将预制梁、柱和板在现场安装就位后，再在构件连接处现浇混凝土使之成为整体而形成框架。

5. 变形缝有________、________、________3种。

二、选择题

1. 剪力墙的加强区位于剪力墙的(　　)。

A. 突出部位　　B. 上部　　C. 中部　　D. 底部

2. 剪力墙结构可视为由(　　)三类构件构成。

A. 约束边缘构件、构造边缘构件、底部加强区

B. 墙柱、墙身、墙梁

C. 暗柱、端柱、翼柱

D. 暗梁、边框梁、连梁

3. 抗震设计时，剪力墙纵向钢筋最小锚固长度应取为(　　)。

A. 基本锚固长度 l_{ab}　　B. 锚固长度 l_a

C. 抗震锚固长度 l_{aE}　　D. 搭接长度 l_{lE}

4. 抗震设计时剪力墙水平和分布钢筋间距不宜大于(　　)。

A. 200mm　　B. 300mm　　C. 250mm　　D. 600mm

5. 抗震设计时剪力墙竖向和水平分布钢筋双排布置的条件是(　　)。

A. 剪力墙厚度大于160mm　　B. 剪力墙底部加强部位

C. 剪力墙厚度大于 140mm　　D. 一、二、三级抗震等级的剪力墙

6. 暗柱及端柱内纵向钢筋连接和锚固要求宜与(　　)相同。

A. 受弯构件　　B. 受压构件　　C. 框架柱　　D. 框架梁

7. 剪力墙竖向及水平分布钢筋的搭接长度，抗震设计时不应小于(　　)。

A. $1.2l_a$　　B. $1.2l_{aE}$　　C. l_l　　D. l_{lE}

8. 在剪力墙(　　)的部位，应设置符合规定的边缘构件。

A. 剪力墙两端及洞口两侧　　B. 底部加强部位及相邻的上一层墙肢

C. 剪力墙顶部　　D. 剪力墙突出部位

三、简答题

1. 剪力墙上设置的约束边缘构件与构造边缘构件在配筋构造上有哪些区别？为什么？
2. 在连梁中设置斜筋的主要作用是什么？
3. 剪力墙墙面开洞和连梁开洞时应采取的构造措施是什么？
4. 框架-剪力墙结构与剪力墙结构相比，有哪些特点？



模块 12 装配式混凝土结构简介

教学目标

通过本模块的学习，使学生掌握装配式结构的基本概念，并能够认识常见的预制混凝土构件。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
掌握装配式结构的概念及装配式混凝土结构的分类	装配式结构的概念；装配式混凝土结构的分类	35％
掌握常见的预制混凝土构件	常见的预制混凝土构件	65％

学习重点

装配式混凝土结构；预制混凝土构件。

引例

2016年2月6日，中共中央国务院发布的《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》指出：积极适应和引领经济发展新常态，把城市规划好、建设好、管理好，对促进以人为核心的新型城镇化发展，建设美丽中国，实现“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴的中国梦具有重要的现实意义和深远的历史意义。为进一步加强和改进城市规划建设管理工作，解决制约城市科学发展的突出矛盾和深层次问题，开创城市现代化建设新局面，现提出以下意见。

为全面推进装配式建筑发展，2016年9月，国务院发布了《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》(国办发〔2016〕71号)；2017年3月，住房和城乡建设部发布了《“十三五”装配式建筑行动方案》《装配式建筑示范城市管理办法》《装配式建筑产业基地管理办法》。

《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》指出：装配式建筑是用预制部品部件在工地装配而成的建筑。发展装配式建筑是建造方式的重大变革，是推进供给侧结构性改革和新型城镇化发展的重要举措，有利于节约资源能源、减少施工污染、提升劳动生产效率和质量安全水平，有利于促进建筑业与信息化工业化深度融合、培育新产业新动能、推动化解过剩产能。近年来，我国积极探索发展装配式建筑，但建造方式大多仍以现场浇筑为主，装配式建筑比例和规模化程度较低，与发展绿色建筑的有关要求以及先进建造方式相比还有很大差距。

《“十三五”装配式建筑行动方案》进一步明确了阶段性工作目标，即到2020年，全国装配式建筑占新建建筑的比例达到15%以上，其中重点推进地区达到20%以上，积极推进地区达到15%以上，鼓励推进地区达到10%以上。鼓励各地制定更高的发展目标。建立健全装配式建筑政策体系、规划体系、标准体系、技术体系、产品体系和监管体系，形成一批装配式建筑设计、施工、部品部件规模化生产企业和工程总承包企业，形成装配式建筑专业化队伍，全面提升装配式建筑质量、效益和品质，实现装配式建筑全面发展。根据《行动方案》，到2020年，培育50个以上装配式建筑示范城市，200个以上装配式建筑产业基地，500个以上装配式建筑示范工程，建设30个以上装配式建筑科技创新基地，充分发挥示范引领和带动作用。



【住宅产业化简介】

【住宅产业化施工】

《装配式建筑示范城市管理办法》明确了示范城市的申请、评审、认定、发布和监督管理的各项要求。根据该办法，示范城市是指在装配式建筑发展过程中，具有较好的产业基础，并在装配式建筑发展目标、支持政策、技术标准、项目实施、发展机制等方面能够发挥示范引领作用的城市。

《装配式建筑产业基地管理办法》明确，产业基地是指具有明确的发展目标、较好的产业基础、技术先进成熟、研发创新能力强、产业关联度大、注重装配式建筑相关人才培养培训、能够发挥示范引领和带动作用的装配式建筑相关企业，主要包括装配式建筑设计、部品部件生产、施工、装备制造、科技研发等企业。

12.1 装配式混凝土结构概述

12.1.1 装配式结构的概念

装配式结构是由预制混凝土构件通过可靠的连接方式装配而成的混凝土结构，包括装配式混凝土结构、全装配混凝土结构等。装配式混凝土结构是指由预制混凝土构件通过各种可靠的连接方式进行连接并与现场后浇混凝土、水泥基灌浆料形成整体的混凝土结构，简称装配整体式结构。



【装配式结构】

12.1.2 装配式混凝土结构的分类

1. 装配式混凝土框架结构

装配式混凝土框架结构，即全部或部分框架梁、柱采用预制构件构建而成的装配式混凝土结构，简称装配式框架结构，如图12.1所示。

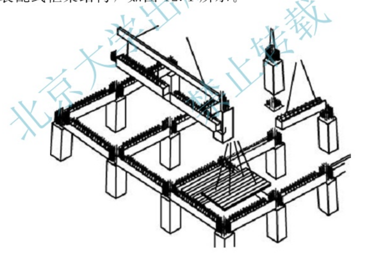


图12.1 装配式混凝土框架结构

2. 装配式混凝土剪力墙结构

装配式混凝土剪力墙结构，即全部或部分剪力墙采用预制墙板构建而成的装配式混凝土结构，简称装配式剪力墙结构，如图12.2所示。

3. 装配式混凝土框架-现浇剪力墙结构

装配式混凝土框架-现浇剪力墙结构由装配整体式框架结构和现浇剪力墙（现浇核心筒）两部分组成。这种结构形式中的框架部分采用与预制装配整体式框架结构相同的预制装配技术，使预制装配框架技术在高层及超高层建筑中得以应用。鉴于对该种结构形式的整体受力的研究不够充分，目前，装配式混凝土框架-现浇剪力墙结构中的剪力墙只能采用现浇。

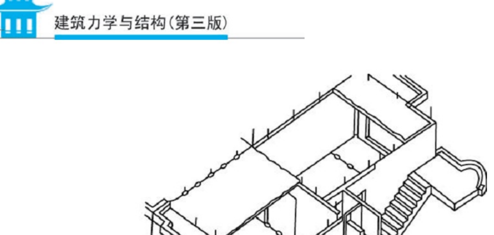


图 12.2　装配式混凝土剪力墙结构

12.1.3 装配式混凝土结构的适用范围

根据《装配式混凝土结构技术规程》(JGJ 1—2014) 的规定，装配整体式结构房屋的最大适用高度见表 12-1，最大高宽比见表 12-2。

表 12-1　装配整体式结构房屋的最大适用高度(m)

结构类型	抗震设防烈度			
	6 度	7 度	8 度 (0.2g)	8 度 (0.3g)
装配式混凝土框架结构	60	50	40	30
装配式整体式框架-现浇剪力墙结构	130	120	100	80
装配式整体式剪力墙结构	130	110	90	70
装配式整体式部分框支剪力墙结构	110	90	70	40

表 12-2　装配整体式结构房屋的最大高宽比

结构类型	抗震设防烈度	
	6、7 度	8 度
装配式混凝土框架结构	4	3
装配整体式框架-现浇剪力墙结构	6	5
装配式整体式剪力墙结构	6	5

12.2 预制混凝土构件概述



【装配化构件】

12.2.1 预制混凝土（受力）构件简介

装配式混凝土结构常用的预制构件有预制混凝土框架柱、预制混凝土叠合梁、预制混凝土剪力墙外墙板、预制混凝土剪力墙内墙板、预制混凝土钢筋桁架叠合楼板、预制带肋底板混凝土叠合楼板、预制混凝土楼梯板、预制混凝土阳台板、预制混凝土空调板、预制混凝土女儿墙、预制混凝土外墙挂板等。这些主要受力构件通常在工厂预制加工完成待强度符合规定要求后，再进行现场装配施工。

1. 预制混凝土框架柱

预制混凝土框架柱（图12.3）是建筑物的主要竖向结构受力构件，一般采用矩形截面。

2. 预制混凝土叠合梁

预制混凝土叠合梁是由预制混凝土底梁（或既有混凝土底梁）和后浇混凝土组成，分两阶段成型的整体受力水平结构构件（图12.4），其下半部分在工厂预制，上半部分在工地叠合浇筑混凝土。

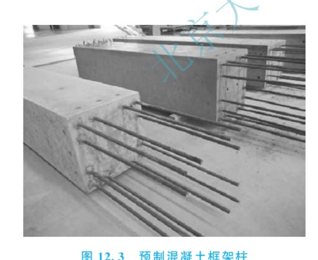


图12.3 预制混凝土框架柱



图12.4 预制混凝土叠合梁

3. 预制混凝土剪力墙墙板

1）预制混凝土剪力墙外墙板

预制混凝土剪力墙外墙板（图12.5）是指在工厂预制而成的，内叶板为预制混凝土剪力墙、中间夹有保温层、外叶板为钢筋混凝土保护层的预制混凝土夹心保温剪力墙墙板，简称预制混凝土剪力墙外墙板。内叶板侧面在施工现场通过预留钢筋与现浇剪力墙边缘构件连接，底部通过钢筋灌浆套筒与下层预制剪力墙预留钢筋相连。

2）预制混凝土剪力墙内墙板

预制混凝土剪力墙内墙板（图12.6）是指在工厂预制成的混凝土剪力墙构件。预制混凝土剪力墙内墙板侧面在施工现场通过预留钢筋与现浇剪力墙边缘构件连接，底部通过钢筋灌浆套筒与下层预制剪力墙预留钢筋相连。



图12.5　预制混凝土剪力墙外墙板



图12.6　预制混凝土剪力墙内墙板

4. 预制混凝土叠合楼板

预制混凝土叠合楼板最常见的主要有两种：一种是预制混凝土钢筋桁架叠合板；另一种是预制带肋底板混凝土叠合楼板。

1）预制混凝土钢筋桁架叠合板（图12.7）

预制混凝土钢筋桁架叠合板属于半预制构件，下部为预制混凝土板，外露部分为桁架钢筋。预制混凝土叠合板的预制部分最小厚度为3～6cm。叠合楼板在工地安装到位后应进行二次浇筑，从而成为整体实心楼板。钢筋桁架的主要作用是将后浇筑台混凝土层与预制底板形成整体，并在制作和安装过程中提供刚度。



图12.7　预制混凝土钢筋桁架叠合板

2）预制带肋底板混凝土叠合楼板（图12.8）

5. 预制混凝土楼梯板

预制混凝土楼梯板（图12.9）受力明确、外形美观，避免了现场支模，安装后可作为施工通道，节约了施工工期。

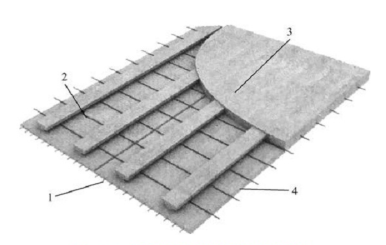


图 12.8 预制带肋底板混凝土叠合楼板

1—纵向预应力钢筋；2—横向穿孔钢筋；3—后浇层；4—PK 叠合板的预制底板



图 12.9 预制混凝土楼梯板

6. 预制混凝土阳台板、预制混凝土空调板、预制混凝土女儿墙

1）预制混凝土阳台板

预制混凝土阳台板（图 12.10）能够克服现浇阳台支模复杂，现场高空作业费时、费力，以及高空作业时的施工安全问题。



图 12.10 预制混凝土阳台板

2）预制混凝土空调板

预制混凝土空调板通常采用预制实心混凝土板，板顶预留钢筋通常与预制叠合板现浇层相连。

3）预制混凝土女儿墙

预制混凝土女儿墙处于屋顶处外墙的延伸部位，通常有立面造型，采用预制混凝土女儿墙的优势是安装快速，节省工期。

12.2.2 常用非承重预制混凝土构件

围护构件是指围合、构成建筑空间，抵御环境不利影响的构件，外围护墙用来抵御风雨、温度变化、太阳辐射等，应具有保温、隔热、隔声、防水、防潮、耐火、耐久等性能。预制内隔墙起分隔室内空间的作用，应具有隔声、阻隔视线以及满足某些特殊要求的性能。

1. PC 外围护墙板

PC 外围护墙板是指预制商品混凝土外墙构件，包括预制混凝土叠合（夹心）墙板、预制混凝土夹心保温外墙板和预制混凝土外墙挂板等。外围护墙板除应具有隔声与防火的功能外，还应具有隔热、保温、抗渗、抗冻融、防碳化等作用和满足建筑艺术装饰的要求。外围护墙板可采用轻集料单一材料制成，也可采用复合材料（结构层、保温隔热层和饰面层）制成。

PC 外围护墙板采用工厂化生产，现场进行安装的施工方法，具有施工周期短、质量可靠（对防止裂缝、渗漏等质量通病十分有效）、节能环保（耗材少、减少扬尘和噪声等)、工业化程度高及劳动力投入量少等优点，在国内外的住宅建筑上得到了广泛运用。

PC 外围护墙板生产中使用了高精密度的钢模板，模板的一次性摊销成本较高，如果施工建筑物外形变化不大，且外墙板生产数量大，模具通过多次循环使用后成本可以降低。

根据制作结构不同，预制外墙结构可分为预制混凝土夹心保温外墙板和预制混凝土非保温外墙挂板。

1）预制混凝土夹心保温外墙板

预制混凝土夹心保温外墙板是集承重、围护、保温、防水、防火等功能于一体的重要装配式预制构件，由内叶墙板、保温材料、外叶墙板三部分组成（图 12.11）。

预制混凝土夹心保温外墙板宜采用平模工艺生产，生产时，一般先浇筑外叶墙板混凝土层，再安装保温材料和拉结件，最后浇筑内叶墙板混凝土，这可以使保温材料与结构同寿命。当采用立模工艺生产时，应同步浇筑内、外叶墙板混凝土层，并应采取保证保温材料及拉结件位置准确的措施。

2）预制混凝土非保温外墙挂板

预制混凝土非保温外墙挂板是在预制车间加工并运输到施工现场吊装的钢筋混凝土外墙板的板底设置预埋铁件，通过与楼板上的预埋螺栓连接达到底部固定，再通过连接件达到顶部与楼板的固定（图 12.12）。其在工厂采用工业化生产，具有施工速度快、质量好、维修费用低的特点。其根据工程需要可以设计成集外装饰、保温、墙体围护于一体的复合保温外墙挂板，也可以作为复合墙体的外装饰挂板。



图 12.11 预制混凝土夹心保温外墙板构造图



图 12.12 预制混凝土非保温外墙挂板

预制混凝土非保温外墙挂板可充分体现大型公共建筑外墙独特的表现力。预制混凝土非保温外墙挂板必须具有防火、耐久性好等基本性能，同时，还要求造型美观、施工简便、环保节能等。

2. 预制内隔墙板

预制内隔墙板按成型方式可分为挤压成型墙板和立模（平模）浇筑成型墙板两种。

1）挤压成型墙板

挤压成型墙板，也称预制条形墙板，是在预制工厂将搅拌均匀的轻质材料料浆，使用挤压成型机通过模板（模腔）成型的墙板（图 12.13）。按断面不同，其可分为空心板、实心板两类。在保证墙板承载和抗剪的前提下，将墙体断面做成空心，可以有效降低墙体的自重，并利用墙体空心处空气的特性提高隔断房间内的保温、隔声效果。门边板端部为实

心板，实心宽度不得小于100mm。对于没有门洞的墙体，应从墙体一端开始沿墙长方向顺序排板；对于有门洞的墙体，应从门洞口开始分别向两边排板。当墙体端部的墙板不足一块板宽时，应设计补板。

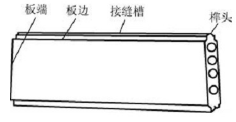


图 12.13 挤压成型空心墙板

2）立模（平模）浇筑成型墙板

立模（平模）浇筑成型墙板，也称预制混凝土整体内墙板，是在预制车间按照所需的样式使用钢模具拼接成型，浇筑或摊铺混凝土制成的墙体。

根据受力不同，内墙板可使用单种材料或者多种材料加工而成。将聚苯乙烯泡沫板材、聚氨酯、无机墙体保温隔热材料等轻质材料填充到墙体中，可以减少混凝土用量，绿色环保，减少室内热量与外界的交换，增强墙体的隔声效果，并通过墙体自重的减轻来降低运输和吊装的成本。



（1）装配式结构是由预制混凝土构件通过可靠的连接方式装配而成的混凝土结构，包括装配式混凝土结构、全装配混凝土结构等。

（2）装配式混凝土结构是指由预制混凝土构件通过各种可靠的连接方式进行连接并与现场后浇混凝土、水泥基灌浆料形成整体的混凝土结构，简称装配整体式结构。

（3）装配式混凝土框架结构，即全部或部分框架梁、柱采用预制构件构建而成的装配式混凝土结构，简称装配式框架结构。

（4）装配式混凝土剪力墙结构，即全部或部分剪力墙采用预制墙板构建而成的装配式混凝土结构，简称装配式剪力墙结构。

（5）装配式混凝土框架-现浇剪力墙结构由装配整体式框架结构和现浇剪力墙（现浇核心筒）两部分组成。

（6）装配式混凝土结构常用的预制构件有预制混凝土框架柱、预制混凝土叠合梁、预制混凝土剪力墙外墙板、预制混凝土剪力墙内墙板、预制混凝土钢筋桁架叠合楼板、预制带肋底板混凝土叠合楼板、预制混凝土楼梯板、预制混凝土阳台板、预制混凝土空调板、预制混凝土女儿墙、预制混凝土外墙挂板等。

（7）常用非承重预制混凝土构件主要有：PC外围护墙板，包括预制混凝土叠合（夹心）墙板、预制混凝土夹心保温外墙板和预制混凝土外墙挂板；预制内隔墙板，按成型方式可分为挤压成型墙板和立模（平模）浇筑成型墙板两种。

习　题

一、判断题

（1）装配式混凝土结构是指由预制混凝土构件通过各种可靠的方式进行连接并与现场后浇混凝土、水泥基灌浆料形成整体的装配式混凝土结构，简称装配式结构。　（　）

（2）装配式框架结构是指全都或部分框架梁、柱采用预制构件构建而成的装配式混凝土结构。　（　）

（3）预制混凝土叠合楼板最常见的有两种：一种是预制混凝土钢筋桁架叠合板；另一种是预制带肋底板混凝土叠合楼板。　（　）

二、简答题

装配式混凝土结构常用的预制构件有哪些？





模块13 地基与基础

教学目标

通过本模块的学习，了解土的组成及基本性能、土的工程特性指标、地基承载力；了解基础的类型与选用；了解浅基础类型、浅基础设计的一般要求、设计步骤和方法；重点掌握柱下独立基础设计和墙下条形基础的构造与设计。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
了解土的组成及基本性能、土的工程特性指标	土的组成及基本性能、土的工程特性指标	20%
了解基础的类型与选用	基础的类型与选用	20%
了解浅基础类型、浅基础设计的一般要求、设计步骤和方法	浅基础类型、浅基础设计的一般要求、设计步骤和方法	25%
掌握柱下独立基础设计和墙下条形基础设计	柱下独立基础及墙下条形基础的设计	35%

学习重点

柱下独立基础和墙下条形基础的构造与设计。

引例

图 13.1(a)所示为墙下钢筋混凝土条形基础，图 13.1(b)所示为柱下钢筋混凝土独立基础。试问：除以上两种基础外，还有哪些基础类型？

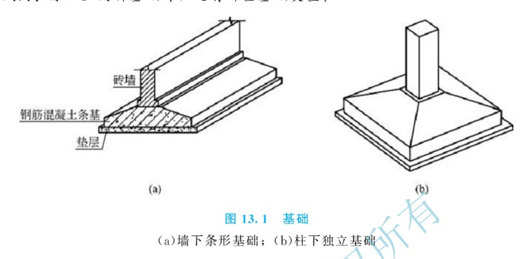


图 13.1 基础

(a)墙下条形基础；(b)柱下独立基础

13.1 土的工程性质及分类

建筑结构都是由埋在地面以下一定深度的基础和支承于其上的上部结构组成的，基础又坐落在称为地基的地层(土或岩石)上，如图 13.2 所示。

作为地基的地层无论是土或是岩石，均是自然界的产物。由于自然环境和条件的复杂性，决定了天然地层在成分、性质、分布和构造上的多样性。除了一般的土类和构造形态之外，还有许多特殊的土类和不良地质现象。在建筑物设计之前，必须进行工程地质勘察和评价，充分了解地层的成因和构造，分析岩土的工程特性，提供设计计算参数。这是搞好地基基础工程设计与施工工作的前提。

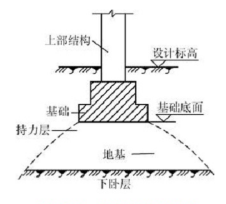


图 13.2 地基与基础示意

基础是建筑结构的重要受力构件，上部结构所承受的荷载都要通过基础传至地基。地基与基础对建筑结构的重要性是显而易见的，它们埋在地下，一旦发生质量事故，不光开始难以察觉，而且其修补工作也要比上部结构困难得多，事故后果又往往是灾难性的，实际上建筑结构的事故绝大多数是由地基和基础引起的。基础是建筑结构的一部分，和上部结构相同，基础应有足够的强度、刚度和耐久性。基础虽然有很多种形式，但可概括分为两大类，即浅基础和深基础。深基础和浅基础没有一个明确的分界线，一般将埋置深度不大，只需开挖基坑及排水等普通施工工艺建造的基础称为浅基础；反之，埋置深度较大，需借助于特殊的施工

方法建造的基础称为深基础。前面各模块研究的是建筑结构的上部结构，本模块研究与建筑结构的地基基础设计有关的主要问题，包括土的工程性质及地基计算、常用基础的类型与选用、浅基础设计等基本内容。

13.1.1 土的工程性质及分类概述

1. 土的组成

土的物质成分包括有作为土骨架的固态矿物颗粒，孔隙中的水及其溶解物质以及气体，如图13.3所示。因此，土是由颗粒(固相)、水(液相)和气体(气相)所组成的三相体系。各种土的颗粒大小和矿物成分差别很大，土的三相间的数量比例也不尽相同，而且土粒与其周围的水又发生了复杂的物理化学作用。所以，要研究土的性质就必须了解土的三相组成以及在天然状态下土的结构和构造等特征。

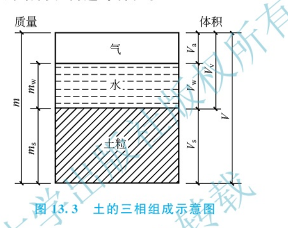


图13.3 土的三相组成示意图

2. 土的物理性质指标

土的三相组成、物质的性质、相对含量以及土的结构构造等各种因素，必然在土的轻重、松密、干湿、软硬等一系列物理性质和状态上有不同的反映。土的物理性质又在一定程度上决定了它的力学性质，所以物理性质是土的最基本的工程特性。

图13.3中符号的意义如下。

m_s——土粒质量；

m_w——土中水质量；

m——土的总质量，$m=m_s+m_w$；

V_s——土粒体积；

V_w——土中水体积；

V_a——土中气体积；

V_v——土中孔隙体积，$V_v=V_w+V_a$；

V——土的总体积，$V=V_s+V_w+V_a$。

1) 土的密度

(1) 天然密度ρ。天然状态下，土单位体积的质量称为其天然密度，单位为g/cm^3或t/m^3，即

$$\rho=\frac{m}{V} \tag{13-1}$$

天然密度变化范围较大。一般黏性土 $\rho=1.8\sim2.0\text{g/cm}^3$；砂土 $\rho=1.6\sim2.0\text{g/cm}^3$；腐殖土 $\rho=1.5\sim1.7\text{g/cm}^3$。

土的密度一般用环刀法测定，用一环刀(刀刃向下)放在削平的原状土样面上，徐徐削去环刀外围的土，边削边压，使保持天然状态的土样压满环刀内，称得环刀内土样质量，求得它与环刀容积的比值，即为其密度。

(2) 土粒比重(土粒相对密度)。土粒质量与同体积的4℃时纯水的质量之比称为土粒比重(无量纲)，即

$$d_s=\frac{\rho_s}{\rho_w}=\frac{m_s}{V_s\rho_w} \tag{13-2}$$

式中，ρ_s——土粒密度(g/cm^3)；

ρ_w——纯水在4℃时的密度(单位体积的质量)，等于 1g/cm^3 或 1t/m^3。

土粒比重可在实验室内用比重瓶测定。将置于比重瓶内的土样在105～110℃下烘干后冷却至室温，用精密天平测其质量，用排水法测得土粒体积，并求得同体积4℃纯水的质量，土粒质量与其的比值就是土粒比重。

由于比重变化的幅度不大，通常可按经验数值选用。

(3) 土的干密度。土单位体积中固体颗粒部分的质量称为土的干密度，单位为 g/cm^3 或 t/ m^3，即

$$\rho_d=\frac{m_s}{V} \tag{13-3}$$

在工程上常把干密度作为评定土体紧密程度的标准，以控制填土工程的施工质量。

(4) 土的饱和密度 ρ_{sat}。土孔隙中充满水时，单位体积的质量即为土的饱和密度，单位为 g/cm^3 或 t/m^3，即

$$\rho_{sat}=\frac{m_s+V_v\rho_w}{V} \tag{13-4}$$

式中，ρ_w——水的密度，近似等于 1g/cm^3。

(5) 土的浮密度 ρ'。在地下水位以下，土体中土粒的质量扣除浮力后，即为单位体积中土粒的有效质量，即

$$\rho'=\frac{m_s-V_s\rho_w}{V=\rho_{sat}-\rho_w}=\rho_{sat}-\rho_w \tag{13-5}$$

2) 土的重度

在实际应用中，经常采用土的容重，即土的重力密度，其数值上等于相应土密度与重力加速度的乘积，一般分为天然容重 γ、干容重 γ_d、饱和容重 γ_{sat}、有效容重 γ'。分别按下列公式计算：$\gamma=\rho g$；$\gamma_d=\rho_d g$；$\gamma_{sat}=\rho_{sat}g$；$\gamma'=\rho' g$。式中 g 为重力加速度，各指标的单位为 kN/m^3。

3) 土的含水率 ω

土中含水的质量与土粒质量之比称为土的含水率，以百分数计，即

$$\omega=\frac{m_w}{m_s}\times100\% \tag{13-6}$$

含水率 ω 是标志土的湿度的一个重要物理指标。天然状态下土层的含水量称天然含水量，其变化范围很大，它与土的种类、埋藏条件及其所处的自然地理环境等有关。一般干

的粗砂土，其值接近于零，而饱和砂土可达40%；坚硬的黏性土的含水率约小于30%，而饱和状态的软黏性土(如淤泥)，则可达60%或更大。一般来说，同一类土，当其含水率增大时，其强度就降低。

土的含水率一般用“烘干法”测定。先称小块原状土样的湿土质量，然后置于烘箱内维持100～105℃烘至恒重，再称干土质量，湿、干土质量之差与干土质量的比值，就是土的含水率。

4) 土的孔隙比 e 和孔隙率 n

(1) 土的孔隙比 e。土中孔隙体积与土体积之比，孔隙比用小数表示，即

$$e=\frac{V_v}{V_s} \tag{13-7}$$

天然状态下土的孔隙比称为天然孔隙比，它是一个重要的物理性指标，可以用来评价天然土层的密实程度。一般 $e<0.6$ 的土是密实的低压缩性土，$e>1.0$ 的土是疏松的高压缩性土。

(2) 土的孔隙率 n。土中孔隙所占体积与总体积之比，用以百分数表示，即

$$n=\frac{V_v}{V}\times 100\% \tag{13-8}$$

一般黏性土的孔隙率为30%～60%，无黏性土为25%～45%。

5) 土的饱和度 S_γ

土中被水充满的孔隙体积与孔隙总体积之比称为土的饱和度，以百分率计，即

$$S_\gamma=\frac{V_w}{V_v}\times 100\% \tag{13-9}$$

6) 黏性土的物理性质

对于黏性土，还有塑限 ω_P、液限 ω_L、塑性指数 I_P 及液性指数 I_L 等物理性质指标。

(1) 黏性土由固体状态变化到可塑状态的界限含水量称为塑限 ω_P。一般用“搓条法”测定。

(2) 黏性土由可塑状态变化到流动状态的界限含水量称为液限 ω_L。一般用锥式液限仪测定。

(3) 液限与塑限的差值称为塑性指数 I_P，即 $I_P=\omega_L-\omega_P$。塑性指数习惯上用不带“%”的百分数表示。由定义知，I_P 正好是土处于可塑状态的上限和下限含水量。I_P越大表明土的颗粒越细，比表面积越大，土的黏性或亲水矿物(如蒙脱石)含量越高，土处在可塑状态的含水量变化范围就越大。塑性指数能综合反映黏土的矿物亲水性成分和颗粒大小等影响黏性土特征的各种重要因素的影响，常作为工程上对黏性土分类的重要指标。黏性土的分类见表13-1所示。

表13-1 黏性土的分类

塑性指数 I_P	土的名称
$I_P>17$	黏土
$10<I_P\leqslant 17$	粉质黏土

注：塑性指数由相应于76g圆锥体沉入土样中深度为10mm时测定的液限计算而得。

（4）液性指数：是指黏性土的天然含水量和塑限的差值与塑性指数之比，用符号 I_L 表示，即

$$I_L=\frac{\omega-\omega_P}{\omega_L-\omega_P}=\frac{\omega-\omega_P}{I_P} \tag{13-10}$$

从式(13-10)中可知，当土的天然含水量 ω 小于 ω_P 时，I_L 小于0，天然土处于坚硬状态；当 ω 大于 ω_L 时，I_L 大于1，天然土处于流动状态；当 ω 在 ω_P 与 ω_L 之间时，即 I_L 在0与1之间时，则天然土处于可塑状态。

因此可以利用液性指数 I_L 来表示黏性土所处的软硬状态。I_L 值越大，土质越软，反之，土质越硬。《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)，以下简称《规范》，根据 I_L 的大小将黏性土的软硬状态分为五类，见表13-2。

表13-2 黏性土的状态

液性指数 I_L	状态	液性指数 I_L	状态
$I_L \leqslant 0$	坚硬	$0.75<I_L\leqslant 1$	软塑
$0<I_L<0.25$	硬塑	$I_L>1$	流塑
$0.25<I_L\leqslant 0.75$	可塑	—	—

注：当用静力触探探头或标准贯入试验锤击数判定黏性土的状态时，可根据当地经验确定。

以上介绍了一般土最基本的物理性质指标，依据它们可对地基土有一个初步了解，并进行简单评价。如通过天然土的密度和重度可知它的轻重；通过孔隙比可判断土的压缩程度；通过饱和度可判断地基土的潮湿程度；通过塑性指数和液性指数所处的范围能判定黏性土的属性和坚硬程度。仅了解以上的地基土的简单情况还很不够，还要综合分析地基土更多的各种工程特性指标，研究其分类的方法，才能确定地基土的承载能力和沉降情况，以此作为基础设计的重要依据。

13.1.2 地基土（岩）的工程分类

地基土(岩)分类的方法很多。建筑结构中，土作为地基承受上部结构通过基础传来的荷载。从工程的角度，即着眼于土的工程性质(特别是各种强度和变形特性)及其与地基土的地质成因之间的关系来分类是合理而必要的。地基土分类的主要依据是三相的组成、粒径级配、土粒的形状和矿物成分等。我国现行规范将地基(岩)分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土、人工填土等。

（1）岩石。岩石应为颗粒间牢固联结，呈整体或具有节理裂隙的岩体。作为建筑结构的地基除应确定岩石的地质名称外，还应分别按表13-3、表13-4划分其坚硬程度和完整程度。岩石的坚硬程度应根据岩块的饱和单轴抗压强度 f_{rk} 分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩。当缺乏饱和单轴抗压强度资料或不能进行该项试验时，可在现场通过观察定性划分，划分标准可按《规范》执行。岩石的风化程度可分为未风化、微风化、中风化、强风化和全风化。

表 13-3　岩石坚硬程度的划分

坚硬程度类别	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度标准值 f_{rk}/MPa	$f_{rk}>60$	$60\geqslant f_{rk}>30$	$30\geqslant f_{rk}>15$	$15\geqslant f_{rk}>5$	$f_{rk}\leqslant 5$

注：岩体完整程度应按表 13-4 划分为完整、较完整、较破碎、破碎和极破碎。

表 13-4　岩石完整程度的划分

完整程度等级	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
完整性指数	>0.75	0.75～0.55	0.55～0.35	0.35～0.15	<0.15

注：完整性指数为岩体纵波波速与岩块纵波波速之比的平方，选定岩体、岩块测定波速时应有代表性。

(2) 碎石土。碎石土为粒径大于 2mm 的颗粒含量超过全重 50%的土。碎石土可按粒组含量和颗粒形状分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾，见表 13-5。

表 13-5　碎石土的分类

土的名称	颗粒形状	粒组含量
漂石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 200 mm 的颗粒含量超过全重的 50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 20 mm 的颗粒含量超过全重的 50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形及亚圆形为主	粒径大于 2 mm 的颗粒含量超过全重的 50%
角砾	棱角形为主	

注：分类时应根据粒组含量栏从上到下以最先符合者确定。

碎石土的密实度，可分为松散、稍密、中密、密实。碎石土的密实度按表 13-6 确定。

表 13-6　碎石土的密实度

重型圆锥动力触探锤击 $N_{63.5}$	密实度	重型圆锥动力触探锤击数 $N_{63.5}$	密实度
$N_{63.5}\leqslant 5$	松散	$10<N_{63.5}\leqslant 20$	中密
$5<N_{63.5}\leqslant 10$	稍密	$N_{63.5}>20$	密实

注：本表适用于平均粒径小于或等于 50mm 且最大粒径不超过 100mm 的卵石、碎石、圆砾、角砾。对于平均粒径大于 50mm 或最大粒径大于 100mm 的碎石土，可按《规范》附录 B 鉴别其密实度；表内 $N_{63.5}$ 为经综合修正后的平均值。

(3) 砂土。砂土为粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过全重的 50%、粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重的 50%的土。砂土可分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。砂土按表 13-7 所示分类。

表 13-7 砂土的分类

土的名称	粒组含量
砾砂	粒径大于 2 mm 的颗粒含量占全重的 25%～50%
粗砂	粒径大于 0.5 mm 的颗粒含量超过全重的 50%
中砂	粒径大于 0.25 mm 的颗粒含量超过全重的 50%
细砂	粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量超过全重的 85%
粉砂	粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量超过全重的 50%

注：分类时应根据粒组含量栏从上到下以最先符合者确定。

砂土的密实度可分为松散、稍密、中密、密实。砂土的密实度按表 13-8 所示确定。

表 13-8 砂土的密实度

标准贯入试验锤击数 N	密实度
$N \leqslant 10$	松散
$10 < N \leqslant 15$	稍密
$15 < N \leqslant 30$	中密
$N > 30$	密实

注：当用静力触探探头阻力判定砂土的密实度时，可根据当地经验确定。

（4）粉土。粉土为塑性指数 $I_P \leqslant 10$ 且粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过全重的 50%的土，它介于砂土与黏性土之间。

（5）黏性土。黏性土是塑性指数 I_P 大于 10 的土，可按表 13-1 分为黏土、粉质黏土。黏性土的状态可按表 13-2 分为坚硬、硬塑、可塑、软塑和流塑。工程实践表明，土的沉积年代对土的工程性质影响很大，按土的沉积年代将黏性土分为老黏性土、一般黏性土和新沉积的黏性土。

（6）人工填土。人工填土是指由于人类活动堆积的土。其物质成分杂乱且均匀性较差，堆积时间也各不相同，故用作地基时应特别慎重。人工填土根据其组成和成因可分为素填土、压实填土、杂填土和冲填土。素填土为由碎石、砂土、黏性土、粉土等组成的填土；经分层压实者统称为压实填土；杂填土为含有建筑垃圾、工业废物、生活垃圾等杂物的填土；冲填土为由水力冲填泥砂形成的填土。

（7）特殊土。特殊土指具有一定分布区域或工程意义上具有特殊成分、状态和结构特征的土。大体可分为软土、红黏土、黄土、膨胀土、多年冻土、湿陷性土、盐渍土、淤泥土、淤泥质土、泥炭土、泥炭质土等。

13.1.3 土的工程特性指标

1. 土的工程特性指标及其代表值

土的工程特性指标应包括强度指标、压缩性指标及静力触探探头阻力、标准贯入试验锤击数、载荷试验承载力等和其他特性指标。地基土工程特性指标的代表值应分别为标准值、平均值及特征值。其中，抗剪强度指标应取标准值；压缩性指标应取平均值；载荷试验承载力应取特征值。

2. 土的抗剪强度指标

(1) 土的抗剪强度。土的抗剪强度是指土体抵抗剪切破坏的极限能力。当土体内某点的剪应力达到土体的抗剪强度时，该点即发生剪切破坏。土的抗剪强度是土最重要的工程特性指标之一，在计算挡土墙及地下结构的土压力、确定建筑物地基的承载力和各类边坡的稳定分析中，均由土的抗剪强度控制。

(2) 测定土的抗剪强度。土的抗剪强度可用室内原状土直接剪切试验、无侧限抗压强度试验、三轴压缩试验、现场原位测试、十字板剪切试验等方法测定。采用室内剪切试验时，应选择三轴压缩试验中的不固结不排水试验。已经预压固结的地基可采用固结不排水试验，每层土的试样数量不能少于6组。验算土坡体的稳定性时，对于已有剪切破裂面或其他软弱结构面的土的抗剪强度，应进行野外大型剪切试验。

(3) 土的抗剪强度指标。土的抗剪强度有两种表达方法，相应有两种强度指标：土的c和φ统称为土的总应力强度指标；土的c'和φ'统称为土的有效应力强度指标。其中c、φ分别为土的黏聚力和内摩擦角；c'、φ'分别为土的有效黏聚力和有效内摩擦角。工程中往往选用最接近实际条件的试验方法取得土的总应力强度指标。

3. 土的压缩性指标

土的压缩性指标是建筑物沉降计算的依据。

(1) 土的压缩系数a和压缩模量E_s。土的压缩系数a和压缩模量E_s是评价土体压缩性能的指标，分别用下式计算

$$a=\frac{e_1-e_2}{p_2-p_1} \tag{13-11}$$

$$E_s=\frac{1+e_1}{a} \tag{13-12}$$

式中，a——土的压缩系数(MPa^{-1})；

E_s——土的压缩模量(MPa)；

p_1、p_2——土的固结应力(kPa或MPa)；

e_1、e_2——对应于p_1、p_2时的孔隙比。

地基土的压缩性可按p_1为100kPa、p_2为200kPa时相对应的压缩系数a_{1-2}划分，一般按以下标准评价。

① 当$a_{1-2}<0.1MPa^{-1}$时，为低压缩性土。

② 当$0.1MPa^{-1}\leqslant a_{1-2}<0.5MPa^{-1}$时，为中压缩性土。

③ 当$a_{1-2}\geqslant 0.5MPa^{-1}$时，为高压缩性土。

压缩模量E_s与土的压缩系数a成反比，故也能评价土的压缩性的高低。一般认为，$E_s<4MPa$时为高压缩性土；$E_s=4\sim15MPa$时为中压缩性土；$E_s>15MPa$时为低压缩性土。

(2) 土的压缩性指标可采用室内原状土压缩试验、原位浅层或深层平板载荷试验、旁压试验、触探试验确定。

4. 标准贯入试验锤击数

标准贯入试验锤击数N值，可对砂土、粉土、黏性土的物理状态，土的强度、变形参数、地基承载力、单桩承载力，砂土和粉土的液化，成桩的可能性等做出评价。

5. 载荷试验承载力

载荷试验是确定岩土承载力的主要方法，包括浅层平板载荷试验和深层平板载荷试验。浅层平板载荷试验适用于浅层地基；深层平板载荷试验适用于深层地基。

13.2 地基承载力

地基承载力是指在保证地基强度和稳定的条件下，建筑物不产生过大沉降和不均匀沉降而安全承受荷载的能力。地基承载力的确定在地基基础设计中是一个非常重要而又十分复杂的问题，它不仅与土的物理力学性质有关，而且还与建筑类型、结构特点、基础形式、基础的底面尺寸、基础埋深、施工速度等因素有关。确定地基承载力的基础是确定地基承载力特征值。

地基承载力特征值 f_{ak} 可由野外鉴别、载荷试验或其他原位测试、土样试验与公式计算，并结合工程实践经验等方法综合确定。

当基础宽度大于 3m 或埋置深度大于 0.5m 时，从载荷试验或其他原位测试、经验值等方法确定的地基承载力特征值，尚应修正，称为修正后的地基承载力特征值，用 f_a 表示。

特别提示

计算时，也可近似取 $f_a=1.1f_{ak}$。

13.3 天然地基上浅基础设计

13.3.1 地基基础设计的基本规定

基础按埋置深度的不同可分为浅基础和深基础两类。一般在天然地基上修筑浅基础，其施工简单，造价低，而人工地基及深基础往往施工复杂，造价较高。因此在保证建筑物安全和正常使用的条件下，应首先选用天然地基上浅基础的方案。

地基基础设计必须根据建筑物的用途和安全等级、建筑布置和结构类型，充分考虑建筑场地和地基岩土条件，结合施工条件以及工期、造价等各方面的要求，合理选择地基基础方案，因地制宜、精心设计，以保证建筑物的安全和正常使用。

1. 地基基础设计和计算的基本原则

地基基础的设计和计算应该满足下列三项基本原则。

(1) 对防止地基土体剪切破坏和丧失稳定性方面，应具有足够的安全度。

(2) 应控制地基变形量，使之不超过建筑物的地基变形允许值，以免引起基础不利截面和上部结构的损坏，或影响建筑物的使用功能和外观。

(3) 基础的形式、构造和尺寸，除应能适应上部结构、符合使用需要，满足地基承载力(稳定性)和变形要求外，还应满足对基础结构的强度、刚度和耐久性的要求。

2. 设计浅基础要处理的问题

设计浅基础一般要妥善处理下列几方面问题。

(1) 充分掌握拟建场地的工程地质条件和地基勘察资料。

(2) 了解当地的建筑经验、施工条件和就地取材的可能性，并结合实际考虑采用先进的施工技术和经济、可行的地基处理方法。

(3) 选择基础类型和平面布置方案，并确定地基持力层和基础埋置深度。

(4) 按地基承载力确定基础底面尺寸，进行必要的地基稳定性和变形验算。

(5) 以简化的或考虑相互作用的计算方法进行基础结构的内力分析和截面设计。

基础设计前，必须对场地的地基情况进行勘察调查，确定地基承载力及有关物理、力学性质指标，根据上部结构资料计算作用在基础上的荷载，按要求确定基础埋深，并按地基承载力初步确定基础底面尺寸，有必要时进行地基变形及稳定性的验算，最后根据作用在基础底面上的地基反力和材料强度等级确定基础的构造尺寸和配筋计算。

3. 地基基础设计的一般要求

地基基础设计的一般要求如下。

(1) 地基与基础设计的内容和要求与建筑物的安全等级有关。根据地基损坏造成建筑物破坏后果(危及人的生命、造成经济损失、造成社会影响及修复的可能性)的严重性，将建筑物地基基础设计等级分为3个等级，见表13-9。

表13-9 地基基础设计等级

设计等级	建筑和地基类型
甲级	重要的工业与民用建筑物 30层以上的高层建筑 体形复杂、层数相关超过10层的高、低层连成一体的建筑物 大面积的多层地下建筑物(如地下车库、商场、运动场等) 对地基变形有特殊要求的建筑物 复杂地质条件下的坡上建筑物(包括高边坡) 对原有工程影响较大的新建建筑物 场地和地基条件复杂的一般建筑物 位于复杂地质条件及软土地区的二层及二层以上地下室的基坑工程 开挖深度大于15m的基坑工程周边环境条件复杂、环境保护要求高的基坑工程
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的7层及7层以下民用建筑及一般工业建筑物，次要的轻型建筑物，非软土地区且场地地质条件简单、基坑周边环境条件简单、环境保护要求不高且开挖深度小于5.0m的基坑工程

(2) 为了保证建筑物的安全与正常使用，根据建筑物的等级和长期荷载作用下地基变形对上部结构的影响程度，地基基础设计应按下列要求进行。

① 所有基础设计均应进行地基承载力计算。

② 设计等级为甲级、乙级的建筑物还应进行地基变形计算。

③ 表13-9所列范围内设计等级为丙级的建筑物可不做地基变形验算，如有下列情况之一时则应做地基变形验算。地基承载力特征值小于130kPa且体型复杂的建筑；在基础上及附近有地面堆载或相邻基础荷载相差较大、可能引起地基产生过大的不均匀沉降时；软弱地基上的建筑物存在偏心荷载时；邻近建筑相距太近可能发生倾斜时；地基内有厚度较大或厚薄不匀的填土自重固结未完成时。

④ 对经常受水平荷载作用的高层建筑和高耸结构、挡土墙，以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物和构筑物，尚应验算其稳定性。

⑤ 基坑工程应进行稳定性验算。

⑥ 当地下水埋藏较浅，建筑地下室或地下构筑物存在上浮问题时，尚应进行抗浮验算。

13.3.2 浅基础的类型


【基础】

1. 按基础埋置深度分类

基础埋置深度简称埋深，指室外底面标高到基础底面的垂直距离。

(1) 浅基础。将埋置深度不大，只需开挖基坑及排水等普通施工工艺建造的基础称为浅基础，一般基础埋深 $d \leqslant 5\text{m}$。

(2) 深基础。将埋置深度较大，需借助于特殊的施工方法建造的基础称为深基础。一般基础埋深 $d \geqslant 5\text{m}$。

2. 按材料分类

基础按使用的材料分为无筋扩展基础(砖基础、毛石基础、灰土基础、三合土基础、毛石混凝土基础、混凝土基础)和扩展基础(钢筋混凝土基础)。

(1) 砖基础。砖基础取材容易、施工简便、价格低廉，广泛应用于6层及6层以下的民用房屋中。砖基础具有一定的抗压强度但抗拉和抗剪强度较低，抗冻性能也较差。砖基础的剖面呈阶梯状，这个阶梯称为大放脚。大放脚从垫层上开始砌筑，为保证其刚度应为两皮砖一收，具体构造要求如图13.4所示。

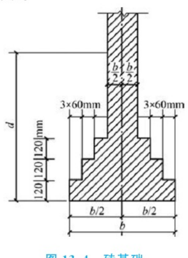


图13.4 砖基础

(2) 毛石基础。毛石基础用于石料取材容易、价格相对便宜的地方。毛石基础用强度较高又未风化的毛石砌筑。毛石是指未经加工整理的石料，毛石基础的宽度和每阶台阶高度不宜小于 400mm；为保证锁结力，每一阶梯宜用两排或 3 排块石砌筑，且每个台阶外伸宽度不宜大于 200mm，具体构造要求如图 13.5 所示。基础应竖砌、错缝、缝内砂浆饱满。

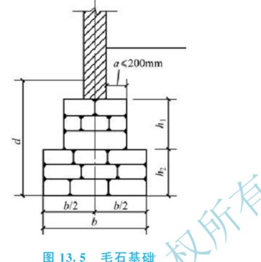


图 13.5 毛石基础

(3) 灰土基础。灰土基础适用于 5 层和 5 层以下、地下水位较低的民用混合结构房屋和用墙承重的轻型厂房。灰土是用经过熟化后的石灰粉和黏性土(以粉质黏土为宜)按一定比例加适量的水拌和分层夯实而成的，其配合比为 3∶7 或 2∶8。一般多采用三步灰土，即分三步夯实，夯实后总厚度为 450mm。

(4) 三合土基础。三合土基础在我国南方地区应用较为广泛，它的优点是施工简单，造价低廉；但其强度较低，故这种基础只适宜用于地下水位较低、不超过 4 层的民用混合结构房屋。三合土基础是用石灰、砂与骨料(碎石、碎砖、矿渣)加入适当的水经充分拌和后，均匀铺入基槽内，并分层夯实而成(虚铺 220mm，夯至 150mm 为一步)，然后在它上面砌砖大放脚。石灰、砂及碎砖三合土的体积配合比为 1∶2∶4 或 1∶3∶6。三合土的强度和骨料种类有关：矿渣由于有水硬性最好、碎砖次之、碎石因不易夯打而质量较差。

(5) 混凝土和毛石混凝土基础。当荷载较大时，常用混凝土基础。混凝土基础的强度、耐久性、抗冻性都较好，但因水泥用量较大，造价比砖、毛石基础高。为节约水泥用量，可在混凝土内掺入 25%～30%体积的毛石(毛石尺寸大小不宜超过 300mm)即为毛石混凝土基础。

以上五种类型基础有个共同的弱点，就是没有配置钢筋，其组成材料的抗拉、抗弯强度都较低。在地基反力作用下，基础下部的扩大部分像悬臂梁一样要向上弯曲，如果悬臂过长，则易产生弯曲裂缝。因此，需要限制台阶宽高比的容许值以保证基础的强度安全。悬臂长度只要符合宽高比的规定，就不会发生弯曲破坏，这类基础统称为刚性基础，又称无筋扩展基础。

(6) 钢筋混凝土基础。钢筋混凝土基础应用广泛，常用于上部结构荷载大或地基条件不好的建筑结构和各种高层结构的各种基础中。钢筋混凝土基础具有良好的抗弯抗剪性能，强度大，故在相同宽度的情况下高度远小于刚性基础；此外，还有抗冻防潮、适用面广的优点，但其造价较高。相对于刚性基础而言，钢筋混凝土基础又称为柔性基础或弹性基础。

3. 按结构分类

1） 单独基础

（1） 柱下单独基础。柱基础的主要类型之一是单独基础。若柱的材料是钢筋混凝土或钢；则基础材料多为混凝土或钢筋混凝土。荷载不大时，可用砖石材料基础。柱下现浇钢筋混凝土单独基础的竖截面可做成阶梯形或锥形，如图 13.6(a)、(b)所示；预制的柱下单独基础一般做成杯形，如图 13.6(c)所示。

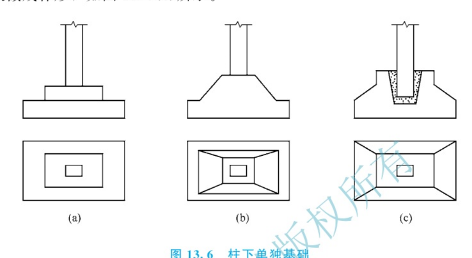


图 13.6　柱下单独基础

(a)阶梯形基础；(b)锥形基础；(c)杯形基础

（2） 墙下单独基础。上部结构荷载不大但基础需要跨越障碍或深埋时，采用墙下单独基础，基础顶面应架设钢筋混凝土过梁，其跨度一般为 4～5m。

2） 条形基础

（1） 墙下条形基础。条形基础是墙基础的主要类型，常用砖石材料建造，必要时可用钢筋混凝土制成，后者又分为有肋式和无肋式两种，如图 13.7 所示。

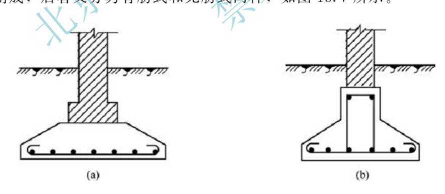


图 13.7　墙下钢筋混凝土条形基础

(a)无肋式；(b)有肋式

（2） 柱下条形基础。当荷载较大而地基软弱时，采用柱下单独基础会使基底面积过大，这时可将同一排(条)柱的基础连通做成钢筋混凝土条形基础，如图 13.8 所示。

（3） 柱下十字交叉基础。当荷载更大而地基相对更软弱时，可在柱网的纵、横两个方向都设置钢筋混凝土条形基础连成柱下十字交叉基础，以提高基础的承载力、刚度和整体性，减少基础的不均匀沉降，如图 13.9 所示。

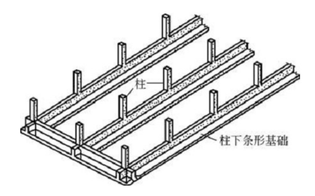


图 13.8　柱下钢筋混凝土条形基础

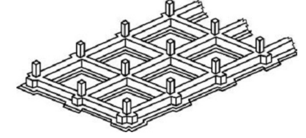


图 13.9　柱下十字形基础

3）筏形基础

若地基特别软弱荷载又很大，用十字交叉基础也不能满足要求时，可采用筏形基础。筏形基础以整个房屋下大面积的筏片与地基接触，因而可以传递较大的上部荷载，筏形基础的整体性较好，能调整各部分的不均匀沉降。它可以做成倒置的肋形楼盖的形式，如图 13.10 所示；也可以做成倒置的无梁楼盖的形式。后者板厚较大，用料多，刚度较前者差，但施工方便；前者折算厚度小，用料省，刚度好，但施工麻烦且费模板。国外以厚平板式筏形基础应用居多，厚度常达 2～3m，它有利于降低整个房屋重心和提高抗倾覆能力，但也将较多地增加地基的负担，尤其是对软弱地基不利。当房屋层数较少时宜采用倒置无梁楼盖式筏形基础，我国采用此种基础较多。

4）箱形基础

箱形基础是由钢筋混凝土整片底板、顶板和钢筋混凝土纵横墙组成的空间盒子，它是筏形基础的进一步发展，具有比上述各种基础形式大得多的刚度和整体性。如图 13.11 所示，由于其刚度相当大，能为上下部结构协同工作提供强有力的基础保证。它的整体抗弯能力也很大，由于挖去了很多土，减少了基础底面的附加压力，箱形基础特别适用于地基软弱、土层较厚、房屋底面积不大而荷载又很大或要求设有地下室的高层建筑和重要建筑。箱形基础的空心部分正好可作为地下室，满足各种功能和设施的要求。箱形基础用作高层建筑的基础，无论在国外还是在国内都是相当普遍的。

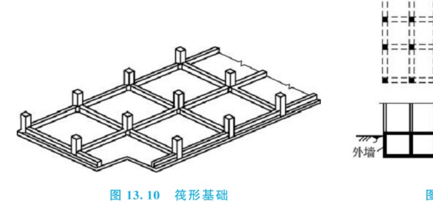


图 13.10　筏形基础

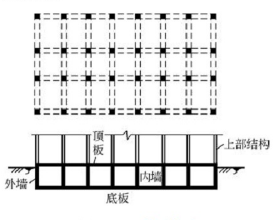


图 13.11　箱形基础

5）桩基础

当上部结构荷载太大且浅层地基软弱又不宜采用地基处理，或坚实土层距基础底面较

深、采用其他基础形式可能导致沉降过大而不能满足地基变形与强度要求时，必须利用地基下部深层较坚硬的土层作为持力层而设计成桩基。桩基础由承台和桩身两部分组成，桩基础的作用是将上部结构的荷载通过桩身与桩尖传至深层较坚硬的地层中，故桩基础能承受较大的荷载，能减少建筑物不均匀沉降，而且对地基土有挤密作用。桩基础是一种最常用的深基础，它承载力高、稳定性好、沉降量小而均匀、抗震和抗震性能好、便于机械化施工、适应性强，在高层建筑、动力设备基础、桥梁及港口工程中应用极为广泛。它是一种发展迅速的深基础。

6）其他基础

其他的基础有壳体基础、岩层锚杆基础、沉井基础、地下连续墙、墩基础、沉箱基础等。沉井和沉箱基础多用于工业建筑、桥梁和地下构筑物；与大开挖相比，它具有挖土量少、施工方便、占地少和对邻近建筑物影响较小等优点。沉箱是将压缩空气压入一个特殊的沉箱室内以排除地下水，工作人员在沉箱内操作，比较容易排除障碍物，使沉箱顺利下沉。目前可达地下水位以下35～40m的深度。地下连续墙是近代发展起来的一种新的基础形式，具有无噪声、无振动、对周围建筑物影响小的特点，并有节约土方量、缩短工期、安全等优点。

13.3.3 基础埋置深度的选择

【基础施工】

基础的埋置深度是指室外设计地面至基础底面的竖向距离。基础埋置深度对建筑物的安全及正常使用、施工工期和造价有很大影响，合理确定基础的埋置深度是很重要的问题，应综合考虑以下几个方面的因素。

1. 建筑物的用途

建筑物的各种用途、有无地下室、设备基础和地下设施，基础的形式和构造对基础埋深影响很大。如有地下管道和设备基础要求时，还应满足建筑物使用功能上提出的埋深要求，将基础局部或整体加深。

2. 作用在地基上的荷载大小和性质

不同的荷载的大小对基础埋深的要求不同；承受动力或较大水平荷载的建筑物与一般以承受竖向荷载为主的建筑物对基础埋深的要求也不同。高层建筑筏形和箱形基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求。在抗震设防区，除岩石地基外，天然地基上的箱形和筏形基础其埋置深度不宜小于建筑物高度的1/15；桩箱或桩筏基础的埋置深度(不计桩长)不宜小于建筑物高度的1/20～1/18。位于岩石地基上的高层建筑，其基础埋深应满足抗滑要求。注意可能承受上拔力的建筑物基础，如输电塔和大跨度悬索桥的锚碇会要求较大或很大的埋深。

3. 工程地质和水文地质条件

在满足地基承载力、稳定和变形要求的前提下，基础应尽量浅埋；当上层地基土的承载力大于下层土时，宜利用上层土做持力层。如果承载力比较高的土层在地基土的下部时，则持力层宜进行地基处理后才能浅埋。基础浅埋的深度，除岩石地基外，不宜小于0.5m，为保护基础，基础顶面低于室外地面不小于0.1m。基础宜埋置在地下水位以上，以避免施工时排水带来的困难，并可减轻地基上的冻害。当必须埋在地下水位以下时，应



采取地基土在施工时不受扰动的措施。若基础埋置在易风化的岩层上，施工时应在基坑开挖后立即铺筑垫层。当地下水有侵蚀性时，还应对基础采取防护措施。

4. 相邻建筑物基础的影响

新建筑物靠近原有建筑物时，其基础埋置深度不宜大于原有建筑物基础。如新基础埋深大于原有建筑基础时，为保证相邻建筑物的安全和正常使用，两基础间应保持一定净距，其数值应视原有建筑荷载大小、基础形式和土质情况而定。当上述要求不能满足时，施工时应采取措施，如分段施工、设临时加固支承、打板桩、构筑地下连续墙或加固原有建筑物的地基。

5. 地基土冻胀和融陷的影响

土中水分冻结后体积变大形成冰晶，使土中孔隙体积增大、使土变得疏松的现象称为冻胀；冻土融化后使土变软、含水量增大、强度降低产生的附加沉陷称为融陷。季节性冻土在冻融过程中，反复地产生冻胀和融陷会使土的强度降低，沉陷增大会对建筑物产生不良影响，可能引起开裂甚至破坏。土的冻胀性大小与土粒大小、含水量和地下水位高低有密切关系。根据土的类别、含水量、地下水位和平均冻胀率，将地基土分为不冻胀土、弱冻胀土、冻胀土、强冻胀土和特强冻胀土五类。对埋置于不冻胀土中的基础，其埋深可不考虑冻胀的影响；对埋置于冻胀土中的基础，其最小埋深要考虑冻胀的影响，一般按公式确定。

13.3.4 基础底面尺寸的选择

选择基础类型和埋深后，可根据修正后的地基承载力特征值计算基础底面尺寸。基础底面积的大小应保证作用在基础底面上的平均应力小于或等于地基承载力的设计值。基础按受力情况分为轴心受压基础和偏心受压基础。

1. 轴心荷载作用下的基础

如图 13.12 所示，基础底面的压力，可按下列公式确定。

$$p_k=\frac{F_k+G_k}{A} \tag{13-13}$$

式中，p_k——相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值(kPa)；

F_k——相应于荷载效应标准组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力值(kN)；

G_k——基础和回填土的自重($G_k=\gamma_G Ad$，γ_G 一般取 20kN/m³，d 为基础埋深)；

A——基础底面面积(m²)。

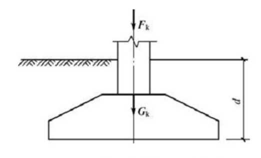


图 13.12 中心荷载作用下的基础

基础底面的压力应符合下式要求，即地基不发生强度破坏

$$p_k \leqslant f_a \tag{13-14}$$

式中，p_k——相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值(kPa)；

f_a——修正后的地基承载力特征值(kPa)。

由式(13-13)、式(13-14)及 $G_k = \gamma_G A d$ 可得下列公式。

(1) 对于矩形基础，有

$$A = bl \geqslant \frac{F_k}{f_a - \gamma_G d} \tag{13-15}$$

(2) 对于方形基础，有

$$b = l \geqslant \sqrt{\frac{F_k}{f_a - \gamma_G d}} \tag{13-16}$$

(3) 对于条形基础，沿长度方向取1m作为计算单元，即 $l=1.0$m，有

$$b \geqslant \frac{F_k}{f_a - \gamma_G d} \tag{13-17}$$

2. 偏心荷载作用下的基础

如图13.13所示，基础底面边缘的最大和最小压力可由下式确定。

$$p_{kmax} = \frac{F_k + G_k}{A} + \frac{M_k}{W} \tag{13-18}$$

$$p_{kmin} = \frac{F_k + G_k}{A} - \frac{M_k}{W} \tag{13-19}$$

式中，M_k——相应于荷载效应标准组合时，作用于基础底面的力矩值(kN·m)；

W——基础底面的抵抗矩(m^3)；

p_{kmax}、p_{kmin}——相应于荷载效应标准组合时，基础底面边缘的最大、最小压力值(kPa)。

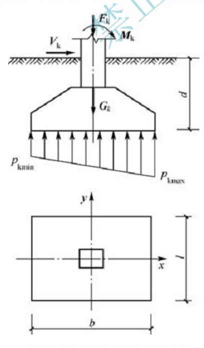


图13.13 单向偏心荷载

当偏心距 $e>\frac{b}{6}$时，部分基础底面与地基之间是脱离的，这时，p_{kmax}应按下式计算。

$$p_{kmax}=\frac{2(F_k+G_k)}{3al} \tag{13-20}$$

式中，l——力矩作用方向的基础底面边长(m)；

a——合力作用点至基础底面最大压力 P_{kmax} 作用边缘的距离(m)，$a=\frac{l}{2}-e_k$；

e_k——偏心距(m)，$e_k=\frac{M_k}{F_k+G_k}$。

偏心荷载作用时，基础底面的压力尚应符合下列要求。

$$p_k=\frac{(p_{kmax}+p_{kmin})}{2}\leqslant f_a \tag{13-21}$$

$$p_{kmax}\leqslant 1.2f_a \tag{13-22}$$

式中，p_{kmax}——相应于荷载效应标准组合时，基础底面边缘的最大压力值(kPa)。

式(13-22)中将地基承载力设计值提高20%的原因，是因为 p_{kmax} 只是在基础边缘的局部范围内出现，而且 p_{kmax} 中的大部分是由活荷载而不是恒荷载产生的。

确定偏心受压基础底面尺寸一般采用试算法：先按轴心受压基础所需的底面面积增大10%～40%，初步选定长短边尺寸；然后验算是否满足式(13-21)、式(13-22)的要求。如不符合，则需另行假定基底尺寸和重算，直至满足要求。

13.3.5 确定基础高度

如基础的高度(或阶梯高度)不足时，则沿着柱周边(或变阶处周边)产生冲切破坏，形成45°斜裂面的角锥体。因此，冲切破坏锥体以外地基反力产生的冲切力应小于混凝土基础在冲切面处的抗冲切力，故对矩形截面柱的矩形基础，应验算柱与基础交接处以及基础变阶处的受冲切承载力。

13.3.6 基础底板配筋计算

基础底板的配筋应按钢筋混凝土抗弯计算确定。验算基础高度和底板配筋时，应用扣除基础自重及其上土重后相应于荷载效应基本组合时的地基土单位面积净反力来计算，对偏心受压基础可取基础边缘处最大地基土单位。

构造要求如下。

(1) 基础的边缘高度。锥形基础的边缘高度不宜小于200mm，且两个方向的坡度不宜大于1∶3；阶梯形基础每阶的高度宜为300～500mm。

(2) 基底垫层。通常在底板下面浇筑一层素混凝土垫层，其厚度不宜小于70mm，垫层混凝土强度等级应为C10。通常采用100mm厚的C10素混凝土垫层，两边各伸出基础100mm。

(3) 钢筋底板受力钢筋最小配筋率不应小于0.15%，且直径不应小于10mm，间距不大于200mm，也不宜小于100mm；当柱下钢筋混凝土独立基础的边长大于或等于2.5m

时，钢筋长度可减短 10%并宜均匀交错布置。底板钢筋的保护层，当有垫层时不小于 40mm；当无垫层时不小于 70mm。

（4）基础混凝土强度等级不应低于 C20。

另外，当扩展基础的混凝土强度等级小于柱的混凝土强度等级时，尚应验算柱下扩展基础顶面的局部受压承载力。

应用案例 13-1

实例二：钢筋混凝土柱基础 JC-2 的计算。柱截面为 500mm×500mm，作用在基础顶面处的相应于荷载效应标准组合上部结构传来的轴心荷载为 900kN，弯矩值为 92kN·m，水平荷载为 15kN，如图 13.14 所示。地基承载力特征值 f_{ak}=200kPa，试计算基础底面尺寸。

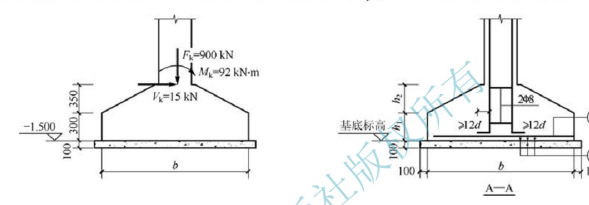


图 13.14 实例二基础图

解：（1）修正后的地基土承载力特征值。近似按 $f_a=1.1f_{ak}$ 计算为

$$
\begin{aligned}
f_a &= 1.1f_{ak}\\
&= 1.1\times 200\\
&= 220(\text{kPa})
\end{aligned}
$$

（2）先按轴心受压估算基础底面积。计算基础和回填土重时的埋深

$$d=1.5\text{m}$$

$$A'\geqslant\frac{Fk}{f_a-\gamma_G d}=\frac{900}{220-20\times 1.5}=4.737(\text{m}^2)$$

（3）考虑偏心，将基础底面增大 10%。

$$A=1.1A'=1.1\times 4.737=5.21(\text{m}^2)$$

取矩形基础底板长短边之比 $l/b=1$，故有 $b=l=\sqrt{A}=2.28(\text{m})$

取 $b=2.5$m。

（4）验算持力层地基土承载力。对于基础底面基础和回填土重为

$$G_k=\gamma_G Ad=20\times 2.5\times 2.5\times 1.5=187.5(\text{kN})$$

$$F_k+G_k=900+187.5=1087.5(\text{kN})$$

$$M_k=92+15\times 0.65=101.75(\text{kN}\cdot\text{m})$$

偏心距为 $$e=\frac{M_k}{F_k+G_k}=\frac{101.75}{1087.5}=0.094<\frac{l}{6}=\frac{2.5}{6}=0.417(\text{m})$$

基底最大最小土压力：

$$p_{kmin}^{kmax}=\frac{F_k+G_k}{A}\left(1\pm\frac{6e}{l}\right)=\frac{1087.5}{2.5\times 2.5}\left(1\pm\frac{6\times 0.094}{2.5}\right)$$

$$p_{kmax}=213kPa<1.2f_a=1.2\times220=264(kPa)$$

$$p_{kmin}=135kPa>0$$

$$p_k=\frac{p_{kmax}+p_{kmin}}{2}=174kPa<f_a=220kPa$$

故基础底面尺寸取 $l=2.5m$，$b=2.5m$，符合设计要求。

应用案例 13-2

实例一：横墙厚 240mm，墙体采用蒸压粉煤灰砖 MU15、混合砂浆 Ms10 砌筑，底层墙体高度为 4.6m(至基顶)，如图 13.15 所示。模块 11 已算出：楼面板面荷载标准值 $g_{k1}=2.99kN/m^2$，楼面可变荷载标准值为 $q_{k1}=2\ kN/m^2$，屋面板面荷载标准值 $g_{k2}=5.34kN/m^2$，屋面可变荷载标准值为 $q_{k2}=0.7kN/m^2$，以上荷载的作用范围是 3.3m。墙体 240mm 双面抹灰，其恒载标准值为 5.24 kN/m^2，墙体高度为 7.2m。试计算横墙基础(1—1 剖面)尺寸及外墙自承重墙(2—2 剖面)基础。

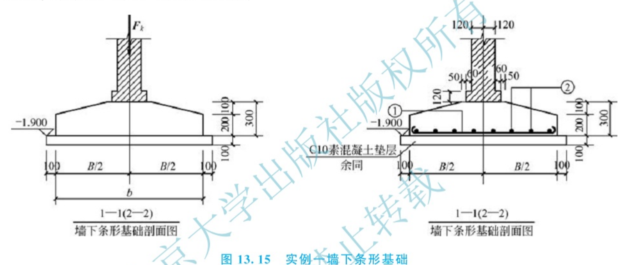


图 13.15　实例一墙下条形基础

解：(1) 1—1 剖面基础尺寸的确定。

中心荷载作用，沿墙长方向取 $l=1m$，底层墙体每米长的荷载标准值为

$$\begin{aligned}F_k&=(g_{k1}+g_{k2})\times3.3+g_{k3}\times7.2+(q_{k1}+q_{k2})\times3.3\\&=(2.99+5.34)\times3.3+5.24\times7.2+(2+0.7)\times3.3\\&=74.127(kN)\end{aligned}$$

持力层承载力验算。

地基承载力设计值为 $f=1.1f_k=1.1\times145=159.5(kPa)$

确定基底尺寸为

$$b\geqslant\frac{F_k}{f-\gamma_G d}\quad(\gamma_G=20kN/m^3,\ d=1.9m)$$

$$=\frac{74.127}{159.5-20\times1.9}=0.61(m)，取\ b=0.8m$$

基底平均压力设计值为

$$p=\frac{F_k+\gamma_G d}{b}=\frac{74.127+20\times1.9}{0.8}=140.159(kPa)<159.5kPa$$

故 1—1 剖面基础底宽度为 800mm。

(2) 2—2 剖面基础尺寸的确定。

中心荷载作用，沿墙长方向取 $l=1\text{m}$，墙体高度 7.2m 加上女儿墙高 1m，总高 8.2m。底层墙体每米长的恒荷载标准值为

$$F_k=g_{k3}\times 8.2=5.24\times 8.2=42.968(\text{kN})$$

持力层承载力验算：

确定基底尺寸为

$$b\geqslant\frac{F_k}{f-\gamma_G d}$$

$$=\frac{42.968}{159.5-20\times 1.9}=0.354(\text{m})\text{，取 } b=0.6\text{m}$$

基底平均压力设计值为

$$p=\frac{F_k+\gamma_G d}{b}=\frac{42.968+20\times 1.9}{0.6}=134.947(\text{kPa})<159.5\text{kPa}$$

故 2—2 剖面基础底宽度为 600mm。

13.4 减轻建筑物不均匀沉降的措施

一般来说，建筑物出现沉降是难以避免的，但是，过大的地基变形将使建筑物损坏或影响它的使用功能。如何防止和减轻基础不均匀沉降引起的损害是建筑设计中必须考虑的问题。人们可以从地基、基础和上部结构相互作用的观点出发，综合选择合理的建筑、结构设计及施工方案和采取相应的措施，以减轻不均匀沉降对建筑物的危害。

1. 建筑措施

(1) 建筑体形力求简单、高差不宜过大。建筑平面简单、高度一致的建筑物，基底应力较均匀，整体刚度好，即使沉降较大，建筑物也不易产生裂缝和损坏。例如，平面呈“一”字形的建筑物整体性好；而体型(平面及剖面)复杂的建筑物，其整体刚度往往会被削弱。此外，建筑物立面体形变化也不要太大。

(2) 控制建筑物的长高比及合理布置纵横墙。砖石承重的建筑物，当其长度与高度之比较小时，建筑物的刚度好。即使沉降较大，也不至于引起建筑物开裂。相反，长高比大的建筑物其整体刚度小，纵墙很容易因挠曲变形过大而开裂。根据建筑实践经验，当基础计算沉降量大于 120mm 时，建筑物的长高比不宜大于 2.5；对于平面简单，内、外墙贯通，横墙间隔较小的房屋，长高比可适当放宽，但一般不宜大于 3.0。

合理布置纵横墙是增强建筑物刚度的重要措施之一，因为纵横墙构成了建筑物的空间刚度，所以适当加密横墙的间距，就可增强建筑物的整体刚度，纵横墙转折会削弱建筑物的整体性，所以建造在软弱地基上的建筑物，纵横墙最好不转折或少转折。

(3) 设置沉降缝。当地基很不均匀且建筑物体形复杂又不可避免时，用沉降缝将建筑物从屋面到基础分割为若干个独立的单元，使建筑平面变得简单，可有效地减轻地基不均

匀沉降。沉降缝通常设置在如下部位：平面形状复杂的建筑物转折处；建筑物高差或荷载差别很大处；长高比过大的建筑物的适当部位；地基土压缩性有显著变化处；建筑物结构或基础类型不同处；分期建筑的交接处。

沉降缝应留有足够的宽度，缝内一般不填塞材料，以保证沉降缝上端不致因相邻单元内倾而顶住。沉降缝的宽度与建筑物的层数有关，见表 13-10。

表 13-10　沉降缝的宽度

房屋层数	沉降缝的宽度/mm
2～3	50～80
4～5	80～120
5 层以上	不小于 120

(4) 控制建筑物基础间距。相邻建筑物太近，由于地基应力扩散作用，会互相影响，引起相邻建筑物产生附加沉降，见表 13-11。建造在软弱地基上的建筑物，应将高低悬殊部分(或新老建筑物)离开一定距离。如离开距离后的两个单元之间需要连接时，应设置能自由沉降的独立连接体或采用简支、悬臂结构。

表 13-11　相邻建筑物基础间的净距(m)

影响建筑的预估平均沉降量 s/mm	被影响的建筑长高比	
	$2.0 \leqslant \frac{L}{H_f} < 3.0$	$3.0 \leqslant \frac{L}{H_f} < 5.0$
70～150	2～3	3～6
160～250	3～6	6～9
260～400	6～9	9～12
≥400	9～12	≥12

注：(1) 表中 L 为建筑物长度或沉降缝分割的单元长度(m)；H_f 为自基础底面标高算起的建筑物高度(m)。

(2) 当被影响建筑的长高比为 $1.5 < \frac{L}{H_f} < 2.0$ 时，其间净距可适当缩小。

2. 结构措施

(1) 减轻建筑物自重。基底压力中，建筑物自重所占比例很大。采用高强轻型砌体材料、选用轻型结构、减少基础和回填土质量，能大大减少建筑物沉降量。

(2) 设置圈梁。不均匀沉降会引起砌体房屋墙体开裂，圈梁的设置可增大建筑物的整体性、刚度和承载力。

(3) 减少和调整基底附加压力。改变基础形式及基底尺寸、增设地下室等架空层，可减少和调整基底附加压力。

(4) 将上部结构做成静定体系。当发生不均匀沉降时采用静定结构体系不致引起很大的附加应力，故在软弱地基上建造的公共建筑、单层工业厂房、仓库等，可考虑采用静定结构体系，以适应不均匀沉降的要求。

3. 施工措施

合理安排施工顺序和注意选用施工方法可减少或调整不均匀沉降。当建筑物存在高低或轻重不同部分时，应先施工高层及重的部分，后建轻的及低层部分。如果在高低层之间

使用连接体时，应最后修建连接体，以调整高低层之间部分沉降差异。不要扰动基底土的原来结构，通常在坑底保留约200mm厚的土层，如发现坑底土已被扰动，应将已扰动土挖去，再用砂、碎石等回填夯实。在软弱地基土上、已建和在建房屋外围应避免大量、长时间堆放，以免引起新老房屋的附加沉降。

小 结

建筑结构都是由埋在地面以下一定深度的基础和支承于其上的上部结构组成的，基础又坐落在称为地基的地层(土或岩石)上。基础是建筑结构的重要受力构件，上部结构所承受的荷载都要通过基础传至地基。

土的物质成分包括有作为土骨架的固态矿物颗粒，孔隙中的水及其溶解物质及气体，土的三相组成、物质的性质、相对含量，以及土的结构构造等各种因素，必然在土的轻重、松密、干湿、软硬等一系列物理性质和状态上有不同的反映。土的物理性质又在一定程度上决定了它的力学性质，所以物理性质是土的最基本的工程特性。密度ρ、土粒相对密度d_s、含水量ω可通过土工试验测定，称为基本指标，由它们可导出其他各项指标。

我国现行规范将地基(岩)分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土、人工填土等。

土的工程特性指标应包括强度指标、压缩性指标及静力触探探头阻力、标准贯入试验锤击数、载荷试验承载力等和其他特性指标。地基土工程特性指标的代表值应分别为标准值、平均值及特征值。其中，抗剪强度指标应取标准值；压缩性指标应取平均值；载荷试验承载力应取特征值。

地基的沉降必须要从土的应力与应变的基本关系出发来研究。对于地基土的应力一般要考虑基底附加应力、地基自重应力和地基附加应力。地基的变形是由地基的附加应力导致的，变形都有一个由开始到稳定的过程。我们把地基稳定后的累计变形量称为最终沉降量。

地基承载力特征值可由野外鉴别、载荷试验或其他原位测试、土样试验与公式计算，并结合工程实践经验等方法综合确定。

基础按埋置深度的不同可分为浅基础和深基础两类。一般在天然地基上修筑浅基础，其施工简单，造价低，而人工地基及深基础往往施工复杂，造价较高。因此在保证建筑物安全和正常使用的条件下，应首先选用天然地基上修筑浅基础的方案。

习 题

一、填空题

1. ＿＿＿＿＿是建筑结构的重要受力构件，上部结构所承受的荷载都要通过基础传至＿＿＿＿＿。

2. 土是由＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿和＿＿＿＿＿所组成的三相体系。

3. ＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿可通过土工试验测定，称为基本指标。

4. 液限与塑限的差值称为＿＿＿＿＿＿。

5. 我国现行规范将地基(岩)分为＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿、＿＿＿＿＿＿、粉土、黏性土、人工填土等。

6. ＿＿＿＿＿＿是指土体抵抗剪切破坏的极限能力。

二、选择题

1. 地下水位升高会引起自重应力(　　)。

A. 增加　　B. 减少　　C. 不变　　D. 不确定

2. 当土体内某点的剪应力达到土体的(　　)时，该点即发生剪切破坏。

A. 抗剪强度　　B. 抗压强度　　C. 法向应力　　D. 承载力

3. 载荷试验是确定岩土承载力的主要方法，包括(　　)。

A. 浅层平板载荷试验　　B. 深层平板载荷试验

C. 标准贯入锤击数　　D. 坍落度试验

4. 为解决新建建筑物与已有的相邻建筑物距离过近，且基础埋深又深于相邻建筑物基础埋深的问题，可以采取下列哪项措施?(　　)

A. 增大建筑物之间的距离　　B. 增大新建建筑物的基础埋深

C. 在基坑开挖时采取可靠的支护措施　　D. 及时回填土

三、判断题

1. 黏性土的天然含水量和塑限的差值与塑性指数之比称为塑性指数。(　　)

2. 一般说来，同一类土，当其含水量增大时，则其强度就降低。(　　)

3. 可以利用液性指数 I_L 来表示黏性土所处的软硬状态。I_L 值越大，土质越硬；反之，土质越软。(　　)

4. 当含水量发生变化时，随之变化的指标是塑限。(　　)

四、计算题

1. 某地基土试验中，测得土的干重度为 11.2kN/m³，含水量为 31.2%，土粒比重为 2.70，求土的孔隙比、孔隙度、饱和度和饱和重度。

2. 某承重墙厚 370mm，传来轴力设计值 $F=280\text{kN/m}$，基础埋深 $d=0.8\text{m}$，地基资料如图 13.16 所示，试确定基底尺寸。

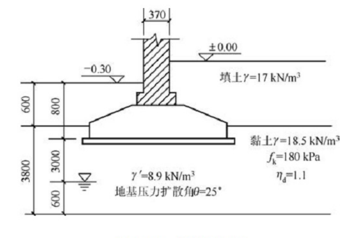


图 13.16　计算题 2 图



模块14 钢结构

教学目标

通过本模块的学习，了解钢结构的组成、特点及应用范围；熟悉钢结构用钢材的品种、规格和选用原则；掌握钢结构的材料性能；掌握钢结构的连接方式；熟悉钢结构轴心受力构件、受弯构件的截面形式及稳定性。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
掌握钢材的主要机械性能；了解钢材的两种破坏形式；掌握影响材料性能的主要因素	强度、塑性、冷弯性能、冲击韧性、可焊性、延性破坏、脆性破坏；化学成分等对其的影响	10%
了解钢材的种类、规格及其选用原则	各种规格的钢材，表示方法，选用原则	25%
了解钢结构连接的种类和特点；了解焊接方法；掌握焊缝连接形式及其计算；了解焊缝连接的缺陷、质量检验和焊缝质量级别；了解普通螺栓的排列和要求；熟悉高强度螺栓连接的分类	焊接连接的形式及其构造要求，螺栓连接的形式及其构造要求	35%
了解轴心受力构件的分类；熟悉轴心受力构件在工程中的应用；了解强度和刚度的计算；掌握整体稳定性、局部稳定性的概念	轴心受力构件的类型：实腹式和格构式，轴心受力强度、刚度和稳定性的计算	15%
了解受弯构件的分类；熟悉受弯构件在工程中的应用；掌握稳定性的概念	梁的分类和稳定性	15%

学习重点

钢结构的材料性能；钢结构的连接方式；钢结构轴心受力构件的截面形式及稳定性；受弯构件的截面形式及稳定性。

引例

"鸟巢"是2008年北京奥运会主体育场。"鸟巢"外形结构主要由巨大的门式钢架组成，共有24根桁架柱。国家体育场建筑顶面呈鞍形，长轴为332.3m，短轴为296.4m，最高点高度为68.5m，最低点高度为42.8m。大跨度屋盖支撑在24根桁架柱之上，柱距为37.96m。主桁架围绕屋盖中间的开口放射形布置，有22榀主桁架直通或接近直通。为了避免出现过于复杂的节点，少量主桁架在内环附近截断。钢结构大量采用由钢板焊接而成的箱形构件，交叉布置的主桁架与屋面及立面的次结构一起形成了"鸟巢"的特殊建筑造型。

大家知道的知名的钢结构建筑物有哪些？它们有什么建筑特色？

14.1 钢结构的特点及应用范围

钢结构是将钢板、圆钢、钢管、钢索、各种型钢等钢材经过加工、连接、安装而组成的工程结构。钢结构是具有足够可靠性和良好社会经济效益的工程结构物和构筑物。在我国发展前景广阔。

14.1.1 钢结构的特点

(1) 钢材强度高而自重轻(轻质高强)。钢的容重大，但强度高，结构需要的构件截面小，因此结构自重轻。与其他材料相比，钢的容重与屈服点的比值最小。在承受同样荷载和约束的条件下，采用钢材时结构的自重比其他结构轻。例如，当跨度和荷载均相同时，钢屋架的自重仅为钢筋混凝土屋架的1/4～1/3，冷弯薄壁型钢屋架甚至接近1/10。由于钢结构自重较轻，便于运输和安装，因此特别适用于跨度大、高度高、荷载大的结构。

(2) 材质均匀，且塑性、韧性好。与砖石和混凝土相比，钢材属单一材料，组织构造比较均匀，且接近各向同性，在正常使用情况下具有良好的塑性，一般情况下钢结构不会由于偶然超载而突然断裂，给人以安全保证；韧性好，说明钢材具有良好的动力工作性能，使得钢结构具有优越的抗震性能。

(3) 良好的焊接性能。进行工地拼接和吊装时，既可保证工程质量，又可缩短施工周期。

(4) 钢结构制作简便、施工方便，具有良好的装配性。钢结构由各种型材采用机械加工在专业化的金属结构厂制作而成，制作简便且成品的精确度高，制成的构件在现场可直接拼接，因其构件质量较轻、施工方便，建成的钢结构也易于拆卸、加固或改建，应用十分广泛。另外，采用工厂制造、工地安装的施工方法，可缩短工期、降低造价、提高经济效益。

(5) 钢材的可重复使用性。钢结构加工制造过程中产生的余料和碎屑，以及废弃或破

坏了的钢结构或构件，均可回炉重新冶炼成钢材重复使用。因此钢材被称为绿色建筑材料或可持续发展材料。

(6) 钢材的不渗漏适用于密闭容器。钢材本身因组织非常致密，采用焊接连接的钢板结构具有较好的水密性和气密性，可用来制作压力容器、管道，甚至载人太空船结构。

(7) 钢材耐热但不耐火。钢材长期经受100℃辐射热时，性能变化不大，具有一定的耐热性能。但当温度超过200℃时，会出现蓝脆现象；当温度达600℃时，钢材进入热塑性状态，将丧失承载能力。因此，在有防火要求的建筑中采用钢结构时，必须采用耐火材料加以保护。

(8) 耐腐蚀性差。钢材耐锈蚀的性能较差，因此必须对钢结构采取防护措施。不过在没有侵蚀性介质的一般厂房中，钢构件经过彻底除锈并涂上合格的油漆后，锈蚀问题并不严重。对处于湿度大、有侵蚀性介质环境中的结构，可采用耐候钢或不锈钢提高其抗锈蚀性能。

(9) 钢结构的低温冷脆倾向。由厚钢板焊接而成的承受拉力和弯矩的构件及其连接节点，在低温下有脆性破坏的倾向，应引起足够的重视。

14.1.2 钢结构的应用范围

随着我国国民经济的不断发展和科学技术的进步，钢结构在我国的应用范围也在不断扩大。目前钢结构应用范围大致如下。

1. 大跨结构

结构跨度越大，自重在荷载中所占的比例就越大。由于钢材具有强度高、自重轻的优点，故其被广泛应用于大跨度结构，如国家体育场、武汉长江大桥等。

2. 工业厂房

吊车起重量较大或者其工作较繁重的车间的主要承重骨架多采用钢结构，鞍钢、武钢、宝钢等结构著名的冶金车间都采用了不同规模的钢结构厂房。

近年来，随着压型钢板等轻型屋面材料的采用，轻钢结构工业厂房得到了迅速的发展。其结构形式主要为实腹式变截面门式刚架，如图14.1所示。





【钢结构建筑】

图14.1 门式刚架

3. 多层和高层建筑

由于钢结构的综合效益指标优良，近年来在多高层民用建筑中也得到了广泛的应用。其结构形式主要有多层框架、框架-支撑结构、框筒、悬挂、巨型框架等。

4. 高耸结构

高耸结构包括塔架和桅杆结构，如高压输电线路的塔架，广播、通信和电视信号发射用的塔架和桅杆，火箭(卫星)发射塔架等。

5. 容器和其他构筑物

冶金、石油、化工企业中大量采用钢板做成的容器结构，包括油罐、煤气罐、高炉、热风炉等。此外，经常使用的钢构筑物还有皮带通廊栈桥、管道支架、锅炉支架等，海上采油平台也大都采用钢结构。

6. 钢和混凝土的组合结构

钢构件和板件受压时必须满足稳定性要求，往往不能充分发挥它的强度高的作用，而混凝土则最宜于受压不适于受拉。将钢材和混凝土并用，使两种材料都充分发挥它的长处，形成一种很合理的结构。近年来这种结构广泛应用于高层建筑(如深圳的赛格广场)、大跨桥梁、工业厂房和地铁站台柱等，主要构件形式有钢与混凝土组合梁和钢管混凝土柱等。

14.2 钢结构材料



【钢结构材料】

引例

2001 年 9 月 11 日，恐怖分子劫持了 4 架民航客机撞击美国纽约世界贸易中心，世贸中心的两幢 110 层摩天大楼遭到攻击，仅仅半小时后两幢大楼相继坍塌。

思考：采用钢结构的两幢大楼为什么在飞机撞击后半小时内完全破坏？是由于飞机的撞击力量过大引起的破坏，还是其他原因引起的破坏？

钢是以铁和碳为主要成分的合金，其中铁是最基本的元素，碳和其他元素所占比例很少，但却左右着钢材的物理和化学性能。为了确保质量和安全，这些钢材应具有较高的强度、塑性和韧性，以及良好的加工性能。《钢结构设计规范》推荐碳素结构钢中的 Q235 和低合金高强度结构钢中的 Q345、Q390、Q420、Q460 和 Q345GT 等牌号的钢材作为承重结构用钢。

14.2.1 建筑钢材的破坏形式

钢材的破坏形式分为塑性(延性)破坏和脆性破坏。

(1) 塑性破坏的特征是钢材在断裂破坏时产生很大的塑性变形，又称延性破坏，其断口呈纤维状，色泽发暗，有时能看到滑移的痕迹。钢材的塑性破坏可通过一种标准圆棒试件进行拉伸破坏试验加以验证。钢材在发生塑性破坏时变形特征明显，很容易被发现并及时采取补救措施，因而不致引起严重后果，而且适度的塑性变形能起到调整结构内力分布的作用，使原先结构应力不均匀的部分趋于均匀，从而提高结构的承载能力。

(2) 脆性破坏的特征是钢材在断裂破坏时没有明显的变形征兆，其断口平齐，呈有

光泽的晶粒状。由于脆性破坏无显著变形，破坏突然发生、无法预测，故其造成的危害和损失往往比延性破坏大得多，在钢结构工程设计、施工与安装中应采取适当措施尽力避免。

14.2.2 建筑钢材的力学性能

钢材的主要力学性能包括强度、塑性、韧性和冷弯性能，它们是钢结构设计的重要依据，这些性能指标主要靠试验来测定。

1. 拉伸试验

建筑钢材的强度和塑性一般由常温静载下单向拉伸试验曲线表明。钢材的单向拉伸试验所得的屈服强度 f_y、抗拉强度 f_u 和伸长率 δ，是钢材力学性能要求的三项重要指标。

1）强度

钢结构设计中，将钢材达到屈服强度 f_y 作为承载能力极限状态的标志。钢材的抗拉强度 f_u 是钢材抗破坏能力的极限。

钢材的屈服点与抗拉强度之比，f_y/f_u 称为屈强比，它是表明设计强度储备的一项重要指标，f_y/f_u 越大，强度储备越小，结构越不安全；反之，f_y/f_u 越小，强度储备越大，结构越安全，强度利用率低且不经济。因此，在设计中要选用合适的屈强比。

2）塑性

钢材的伸长率 δ 是反映钢材塑性的指标之一。其值越大，钢材破坏吸收的应变能越多，塑性越好。建筑用钢材不仅要求强度高，还要求塑性好，能够调整局部高应力，提高结构抗脆断能力。

2. 冷弯性能

冷弯性能又称弯曲试验，它是将钢材按原有厚度做成标准试件，放在如图 14.2 所示的冷弯试验机上，用具有一定弯心直径 d 的冲头，在常温下对标准试件中部施加荷载，使之弯曲达 180°，然后检查试件表面，如果不出现裂纹和起层，则认为试件材料冷弯试验合格。冲头的弯心直径 d 根据试件厚度和钢种确定，一般厚度愈大，d 也愈大。

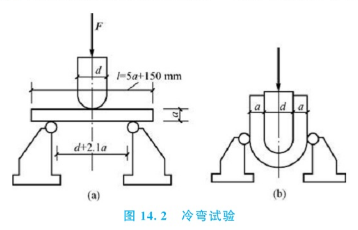


图 14.2　冷弯试验

（a）试验前；（b）试验后

3. 韧性

实际的钢结构常常会承受冲击或振动荷载，如厂房中的吊车梁、桥梁结构等。韧性是指钢材抵抗冲击或振动荷载的能力，其衡量指标称为冲击韧性。冲击韧性值由冲击试验求

得，如图 14.3 所示。试件破坏时吸收的能量愈多，抵抗脆性破坏的能力愈强，韧性愈好。冲击韧性值是衡量钢材强度、塑性及材质的一项综合指标。

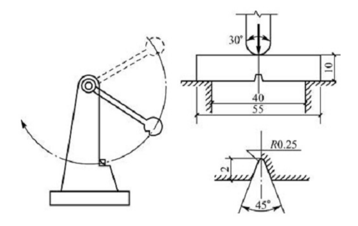


图 14.3　冲击韧性试验

14.2.3　影响钢材性能的主要因素

1. 化学成分的影响

钢结构主要采用碳素结构钢和低合金结构钢。钢的主要成分是铁(Fe)。碳素结构钢中铁含量占 99%以上，其余是碳(C)、硅(Si)、锰(Mn)及硫(S)、磷(P)、氧(O)、氮(N)等冶炼过程中留在钢中的杂质元素。在低合金高强度结构钢中，冶炼时人们还特意加入少量合金元素，如钒(V)、铜(Cu)、铬(Cr)、钼(Mo)等。这些合金元素通过冶炼工艺以一定的结晶形态存在于钢中，可以改善钢材的性能。

1) 碳(C)

碳是各种钢中的重要元素之一，在碳素结构钢中是除铁以外的最主要元素。碳是形成钢材强度的主要成分，随着含碳量的提高，钢的强度逐渐增高，而塑性和韧性下降，冷弯性能、焊接性能和抗锈蚀性能等也变差。钢按碳的含量区分，小于 0.25%的为低碳钢，大于 0.25%而小于 0.6%的为中碳钢，大于 0.6%的为高碳钢。

2) 硫(S)

硫是有害元素，属于杂质。硫会降低钢材的冲击韧性、疲劳强度、抗锈蚀性能和焊接性能等。硫的含量必须严格控制，一般不得超过 0.05%。

3) 磷(P)

磷可以提高钢的强度和抗锈蚀性，但却严重地降低了钢的塑性、韧性、冷弯性能和焊接性能，特别是在温度较低时促使钢材变脆，称为钢材的“冷脆”。

4) 锰(Mn)

锰是有益的元素，它能显著提高钢材的强度，同时又不显著降低塑性和冲击韧性。我国低合金钢中锰的含量一般为 0.1%～1.8%。

5) 硅(Si)

硅也是有益元素，有更强的脱氧作用，是强氧化剂。硅在镇静钢中的含量一般为0.12%～0.30%，在低合金钢中的含量一般为 0.2%～0.55%。

6）氧(O)、氮(N)

氧和氮也是有害元素，氧能使钢热脆，氮能使钢冷脆。

2. 钢材的焊接性能

钢材的焊接性能是指在一定的焊接工艺条件下获得性能良好的焊接接头。

知识链接

评定可焊性好的标志如下。

(1) 在一定的焊接工艺条件下，焊缝和近缝区均不产生裂纹(施工上的可焊性)。

(2) 焊接接头和焊缝的冲击韧性及近缝区塑性不低于母材性能（使用性能上的可焊性)。

3. 冶炼与轧制

根据冶炼过程中脱氧程度不同，钢材可分为镇静钢、半镇静钢、特殊镇静钢和沸腾钢，脱氧程度越高，钢材性能越好。钢材的轧制是在1200～1300℃高温下进行的。轧制能使金属晶粒变细，消除气泡和裂纹等。

4. 温度影响

温度升高时，钢材的强度和弹性模量变化的总趋势是降低的。当温度低于常温时，随着温度的降低，钢材的强度提高，而塑性和韧性降低，逐渐变脆，称为钢材的低温冷脆。

5. 构造缺陷——应力集中现象

钢结构的构件中不可避免地存在着孔洞、槽口、凹角、裂纹、厚度变化、形状变化及内部缺陷等，统称为构造缺陷。由于构造缺陷，钢材中的应力不再保持均匀分布，而是在构造缺陷区域的某些点产生局部高峰应力，而其他一些点的应力则降低，这种现象称为应力集中。应力集中是构成构件脆性破坏的主要原因之一。

14.2.4 钢结构用钢材的种类、规格与选用

1. 建筑钢材的种类

建筑结构用钢的钢种主要是碳素结构钢和低合金钢两种。在碳素结构钢中，建筑钢材只使用低碳钢(含碳量不大于0.25%)。低合金钢是在冶炼碳素结构钢时添加一些合金元素炼成的钢，目的是提高钢材的强度、冲击韧性、耐腐蚀性等，而不致过多降低其塑性。

1）碳素结构钢

国家标准《碳素结构钢》(GB/T 700—2006)将碳素结构钢按屈服点数值分为五个牌号：Q195、Q215、Q235、Q255及Q275。《钢结构设计规范》中所推荐的碳素结构钢是Q235钢，含碳量在0.22%以下，属于低碳钢，钢材的强度适中，塑性、韧性均较好。该牌号钢材又根据化学成分和冲击韧性的不同划分为A、B、C、D共四个质量等级，表示质量等级由低到高。

《碳素结构钢》标准中钢材牌号表示方法由字母Q、屈服点数值(单位N/mm^2)、质量等级代号(A、B、C、D)及脱氧方法代号(F、B、Z、TZ)4个部分组成。Q是“屈”字汉语拼音的首位字母，质量等级中以A级为最差、D级为最优，F、B、Z、TZ则分别是“沸”“半”“镇”及

“特、镇”汉语拼音的首位字母，分别代表沸腾钢、半镇静钢、镇静钢及特殊镇静钢，其中代号Z、TZ可以省略。Q235中A、B级有沸腾钢、半镇静钢及镇静钢，C级全部为镇静钢，D级全部为特殊镇静钢。例如，Q235BZ代表屈服强度为235、单位为N/mm²的B级镇静钢。

2）低合金高强度结构钢

《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2008)将低合金高强度结构钢按屈服点数值分为八个牌号：Q345、Q390、Q420、Q460、Q500、Q550、Q620及Q690，所推荐的低合金高强度结构钢是Q345、Q390、Q420、Q460和Q345GT钢。

《低合金高强度结构钢》中的钢材牌号就只由Q、屈服点数值及质量等级三个部分组成，其中质量等级有A、B、C、D、E共五个级别，字母顺序越靠后的钢材质量越高。A、B级为镇静钢，C、D、E为特殊镇静钢，故可不加脱氧方法的符号。

3）优质碳素结构钢

优质碳素结构钢与碳素结构钢的主要区别在于钢中含杂质较少，磷、硫等有害元素的含量均不大于0.035%，其他缺陷的限制也较严格，具有较好的综合性能。优质碳素钢结构由于价格较高，在钢结构中使用较少，仅用经热处理的优质碳素结构钢冷拔高强度钢丝或制作高强螺栓、自攻螺钉等。

2. 钢材的规格

钢结构采用的钢材品种主要为热轧钢板和型钢以及冷弯薄壁型钢和压型板。

1）钢板

钢板分厚钢板、薄钢板和扁钢，其规格用符号“—”和宽度×厚度×长度的毫米数表示。如—300×10×3000表示宽度为300mm、厚度为10mm、长度为3000mm的钢板。

2）热轧型钢

常用的热轧型钢有角钢、工字钢、H型钢、T型钢、槽钢和钢管(图14.4)。

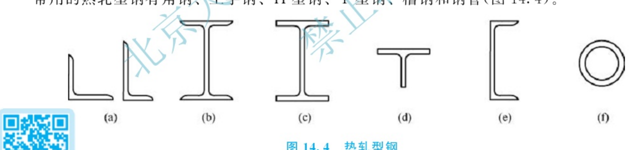


图14.4 热轧型钢

【钢结构材料】

角钢分等边角钢和不等边角钢两种，等边角钢的型号用符号“∟”和肢宽×肢厚的毫米数表示，如∟100×10为肢宽100mm、肢厚10mm的等边角钢。不等边角钢的型号用符号“∟”和长肢宽×短肢宽×肢厚的毫米数表示，如∟100 × 80 ×8为长肢宽100mm、短肢宽80mm、肢厚8mm的不等边角钢。我国目前生产的最大等边角钢的肢宽为200mm，最大不等边角钢的肢宽为200mm×125mm。角钢的长度一般为3～19m。

工字钢型号用符号“工”后加截面高度的厘米数表示。20号和32号以上的普通工字钢，同一高度的工字钢又按腹板厚度不同分a、b和a、b、c类型。同类的普通工字钢宜尽量选用腹板厚度最薄的a类，因为其质量轻，而截面惯性矩相对较大。我国生产的最大普通工字钢为63号，长度为5～19m。工字钢一般宜用于单向受弯构件。

H 型钢和 T 型钢均分为宽、中、窄三种类别，其代号分别为 HW、HM、HN 和 TW、TM、TN。宽翼缘 H 型钢的翼缘宽度 b 与其截面高度 h 一般相等，中翼缘的 $b\approx\left(\frac{1}{2}\sim\frac{2}{3}\right)h$，窄翼缘的 $b\approx\left(\frac{1}{3}\sim\frac{1}{2}\right)h$。H 型钢和 T 型钢的规格标记均采用截面高度 $h\times$翼缘宽度 $b\times$腹板厚度 $t_1\times$翼缘厚度 t_2，如 HW400×400×13×21。

槽钢有普通槽钢和轻型槽钢两种，适于做檩条等双向受弯的构件。槽钢型号用符号“[”加截面高度的厘米数。14 号和 25 号以上的普通槽钢，又按腹板厚度不同分为 a、b 和 a、b、c 类型，如[32a 指截面高度为 320mm，腹板较薄的槽钢。我国生产的最大槽钢为 40 号，长度为 5～19m。

钢管分无缝钢管和焊接钢管两种，型号用“D”和外径×壁厚的毫米数表示，如 D180×8 为外径180mm、壁厚 8mm 的钢管。

3）冷弯型钢和压型钢板

建筑中使用的冷弯型钢常用厚度为 1.5～5mm 的薄钢板或钢带经冷轧(弯)或模压而成，故也称冷弯薄壁型钢(图 14.5)。另外，还有用厚钢板(大于 6mm)冷弯成的方管、矩形管、圆管等，称为冷弯厚壁型钢。压型钢板是冷弯型钢的另一种形式，它是用厚度为 0.3～2mm 的镀锌或镀铝锌钢板、彩色涂层钢板经冷轧(压)成的各种类型的波形板，图 14.6 所示为其中数种。冷弯薄壁型钢和压型钢板分别适用于轻钢结构的承重构件和屋面、墙面构件。冷弯薄壁型钢和压型钢板都属于高效经济截面，由于壁薄，截面几何形状开展，截面惯性矩大、刚度好，故能高效地发挥材料的作用，节约钢材。

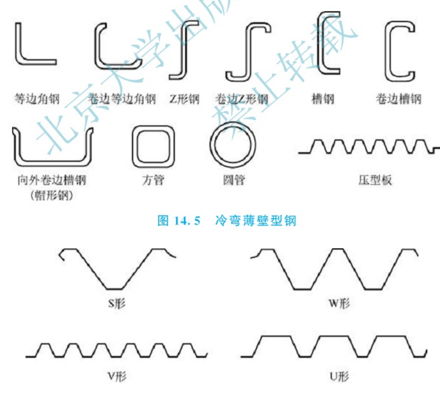


图 14.5　冷弯薄壁型钢

图 14.6　压型钢板

3. 钢材的选用

钢材的选用原则是保证结构安全可靠，同时要经济合理、节约钢材。考虑的因素有以下几个。

1) 结构的重要性

首先应判明建筑物及其构件的分类(重要、一般还是次要)及安全等级(一级、二级还是三级)。

2) 荷载情况

要考虑结构所受荷载的特性,如是静荷载还是动荷载,是直接动荷载还是间接动荷载。

3) 连接方法

需考虑钢材的采用焊接连接还是非焊接连接形式,以便选择符合实际要求的钢材。

4) 结构的工作温度

需考虑结构的工作温度及周围环境中是否有腐蚀性介质。

5) 钢材厚度

对需要选用厚度较大的钢材,应考虑厚度方向撕裂性能的因素,而决定是否选择 Z 向钢。

6) 环境条件

需考虑结构的工作温度及周围环境是否有腐蚀介质。

14.3 钢结构连接

14.3.1 钢结构的连接方法和特点

钢结构的连接方法有焊缝连接、螺栓连接和铆钉连接三种(图 14.7)。

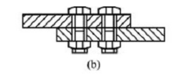
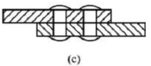




图 14.7 钢结构的连接方法

(a)焊缝连接;(b)螺栓连接;(c)铆钉连接

1. 焊缝连接

焊缝连接是通过电弧产生的热量使焊条和焊件局部熔化,经冷却凝结成焊缝,从而将焊件连接成为一体,是现代钢结构连接中最常用的方法。其优点是构造简单,制造省工;不削弱截面,经济;连接刚度大,密闭性能好;易采用自动化作业,生产效率高。其缺点是焊缝附近有热影响区,该处材质变脆;焊接结构对裂纹很敏感,裂缝易扩展,尤其在低温下易发生脆断。



【焊接、螺栓连接】

2. 螺栓连接

螺栓连接可以分为普通螺栓连接和高强度螺栓连接两种。普通螺栓

通常采用Q235钢材制成，安装时用普通扳手拧紧；高强度螺栓则用高强度钢材经热处理制成，用能控制螺栓杆的扭矩或拉力的特制扳手，拧紧到规定的预拉应力值，将被连接件高度夹紧。所以，螺栓连接是通过螺栓这种紧固件将被连接件连接成为一体的。

螺栓连接的优点是施工工艺简单、安装方便，特别适用于工地安装连接，工程进度和质量易得到保证。其缺点是因开孔对构件截面有一定的削弱，有时在构造上还需增设辅助连接件，故用料增加，构造较繁。此外，螺栓连接需制孔，拼装和安装时需对孔，工作量增加，且对制造的精度要求较高，但它仍是钢结构连接的重要方式之一。

1）普通螺栓连接

普通螺栓分A、B、C共三级。其中A级和B级为精制螺栓，其螺栓材料性能等级为5.6级和8.8级，小数点前的数字表示螺栓成品的抗拉强度分别不小于500N/mm^{2}和800N/mm^2，小数点及小数点后的数字表示屈强比(屈服强度与抗拉强度的比值)分别为0.6和0.8。精制螺栓要求配Ⅰ类孔，Ⅰ类孔孔壁光滑，对孔准确；但其制作和安装复杂、价格较高，已很少在钢结构中采用。

C级螺栓材料性能等级为4.6级或4.8级。抗拉强度不小于400N/mm^2，其屈强比(屈服强度与抗拉强度的比值)为0.6或0.8。C级螺栓由未加工的圆钢压制而成。由于螺栓表面粗糙，一般采用在单个零件上一次冲成或不用钻模钻成的孔(Ⅱ类孔)。螺栓孔的直径比螺栓杆的直径大1.5～2mm。其安装方便，且能有效地传递拉力，故一般可用于沿螺栓杆轴受拉的连接中，以及次要结构的抗剪连接或安装时的临时固定。

2）高强度螺栓连接

高强度螺栓材料性能等级分别为8.8级和10.9级，抗拉强度应分别不低于800N/mm^{2}和1000N/mm^2，屈强比分别为0.8和0.9，一般采用45号钢、40B钢和20MnTiB钢加工制作，经热处理后制成。

高强度螺栓分为大六角头型和扭剪型。安装时通过特别的扳手，以较大的扭矩拧紧螺帽，使螺栓杆产生很大的预拉力。高强螺栓连接有摩擦型连接和承压型连接两种类型。高强度螺栓预拉力将被连接的部件加紧，使部件的接触面间产生很大的摩擦力，外力通过摩擦力来传递，这种连接称为高强度螺栓摩擦型连接，摩擦型连接的孔径比螺杆的公称直径d大1.5～2.0mm。另一种是允许接触面滑移，依靠螺栓杆和螺栓孔之间的承压来传力，这种连接称为高强度螺栓承压型连接，承压型连接的孔径比螺杆的公称直径d大1.0～1.5mm。

3. 铆钉连接

铆钉连接由于构造复杂、费钢费工，现已很少采用。但是铆钉连接的塑性和韧性较好、传力可靠、质量易于检查，在一些重型和直接承受动力荷载的结构中仍然采用。

14.3.2 焊缝连接

1. 焊缝方法

常用的焊缝方法是电弧焊，包括手工电弧焊、自动或半自动埋弧焊及气体保护焊等。

1）手工电弧焊

图14.8是手工电弧焊示意图。它是由焊条、焊钳、焊件、电焊机和导线等组成的电路，通电引弧后，在涂有焊药的焊条端和焊件间的间隙中产生电弧，使焊条熔化，熔滴滴入被电弧吹成的焊件熔池中，同时焊药燃烧，在熔池周围形成保护气体，稍冷后在焊缝熔化金属的表面又形成熔渣。

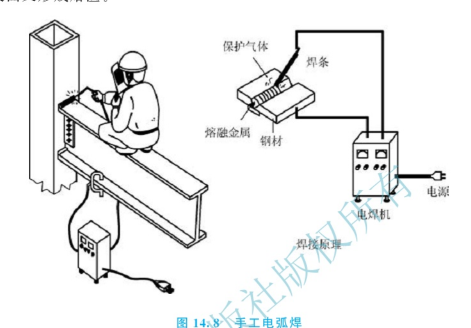


图14.8 手工电弧焊

手工焊常用的焊条有碳钢焊条和低合金钢焊条，其牌号有E43型、E50型和E55型等。其中E表示焊条，两位数字表示焊条熔敷金属抗拉强度的最小值(单位为N/mm^2)。手工焊接采用的焊条应符合国家标准的规定。在选用焊条时，其应与主体金属相匹配。一般情况下，对Q235钢采用E43型焊条，对Q345钢采用E50型焊条，对Q390和Q420钢采用E55型焊条。当不同强度的两种钢材进行连接时，宜采用与低强度钢材相适应的焊条。

2）自动或半自动埋弧焊

自动或半自动埋弧焊的原理如图14.9所示。其特点是焊丝成卷装置在焊丝转盘上，焊丝外表裸露不涂焊剂(焊药)。焊剂呈散状颗粒装置在焊剂漏斗中，通电引弧后，当电弧下的焊丝和附近焊件金属熔化时，焊剂也不断从漏斗流下，将熔融的焊缝金属覆盖，其中部分焊剂将熔成焊渣浮在熔融的焊缝金属表面。由于有覆盖层，焊接时看不见强烈的电弧光，故称为埋弧焊。当将埋弧焊的全部装备固定在小车上，由小车按规定速度沿轨道前进进行焊接时，称为自动埋弧焊。如果焊机的移动是由人工操作的，则称为半自动埋弧焊。

3）气体保护焊

气体保护焊的原理是在焊接时用喷枪喷出的惰性气体将电弧、熔池与大气隔离，从而保持焊接过程的稳定。由于焊接时没有熔渣，故气体保护焊便于观察焊缝的成型过程，但操作时则须在室内避风处，若在工地施焊则须搭设防风棚，如图14.10所示。

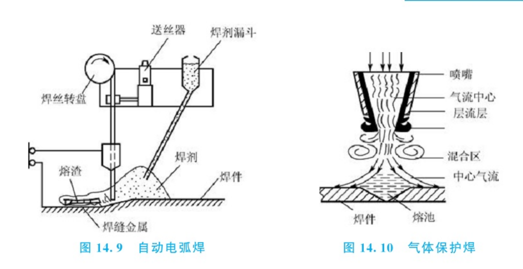


图 14.9 自动电弧焊

图 14.10 气体保护焊

2. 焊缝连接形式及焊缝形式

（1）焊缝连接形式按所连接构件相对位置可分为对接、搭接、T形连接、角部连接四种类型(图 14.11)。这些连接所用的焊缝有对接焊缝和角焊缝两种基本形式。

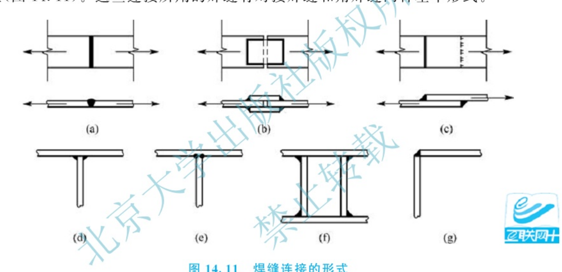


图 14.11 焊缝连接的形式

(a)对接连接；(b)用拼接盖板的对接连接；(c)搭接连接；
(d)、(e) T形连接；(f)、(g)角部连接

（2）焊缝形式：焊缝包括对接焊缝和角焊缝，每一种又有多种分类形式，形式各不相同。

对接焊缝按受力的方向分为正对接焊缝、斜对接焊缝。与作用力方向正交的对接焊缝称为正对接焊缝[图 14.12(a)]；与作用力方向斜交的对接焊缝称为斜对接焊缝[图 14.12(b)]。

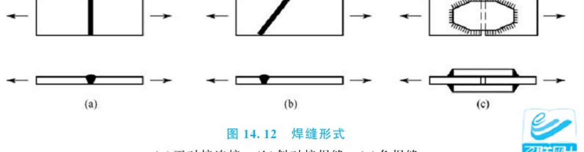


图 14.12 焊缝形式

(a)正对接连接；(b)斜对接焊缝；(c)角焊缝

角焊缝[图 14.12(c)]按所受力的方向分为正面角焊缝、侧面角焊缝和斜角焊缝。轴线与力作用方向垂直的角焊缝称为正面角焊缝；轴线与力作用方向平行的角焊缝称为侧面角焊缝；轴线与力作用方向斜交的角焊缝称为斜角焊缝。

角焊缝按沿长度方向的布置分为连续角焊缝、间断角焊缝(图 14.13)。

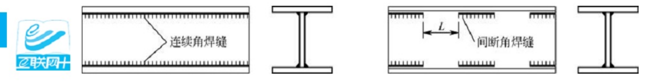


图 14.13　连接角焊缝和间断角焊缝

间断角焊缝间断距离 L 不宜过长，以免连接不紧密潮气侵入，引起构件腐蚀。一般在受压构件中 $L\leqslant15t$，在受拉构件中 $L\leqslant30t$(t 为较薄焊件的厚度)。

焊缝按施焊位置分为平焊、横焊、立焊及仰焊(图 14.14)。

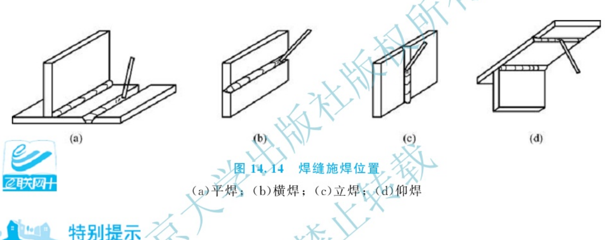


图 14.14　焊缝施焊位置

(a)平焊；(b)横焊；(c)立焊；(d)仰焊

特别提示

平焊施焊方便；横焊和立焊对焊工的操作水平要求较高；仰焊的操作条件最差，焊缝质量不易保证，在焊接中应尽量避免。

3. 焊缝连接的缺陷、质量检验和焊缝质量级别

焊缝连接的缺陷是指在焊接过程中，产生于焊缝金属或附近热影响区钢材表面或内部的缺陷。最常见的缺陷有裂纹、焊瘤、烧穿、弧坑、气孔、夹渣、咬边、未熔合、未焊透(规定部分焊透者除外)及焊缝外形尺寸不符合要求等(图 14.15)。它们将直接影响焊缝质量和连接强度，使焊缝受力面积削弱，且在缺陷处引起应力集中，导致产生裂纹，并引起断裂。

焊缝的质量检验方法一般可用外观检查和内部无损检验。焊缝质量按《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)分为三级，其中三级焊缝只要求对全部焊缝做外观检查；二级焊缝除要求对全部焊缝做外观检查外，还须对部分焊缝做超声波等无损探伤检查；一级焊缝要求对全部焊缝做外观检查及无损探伤检查。

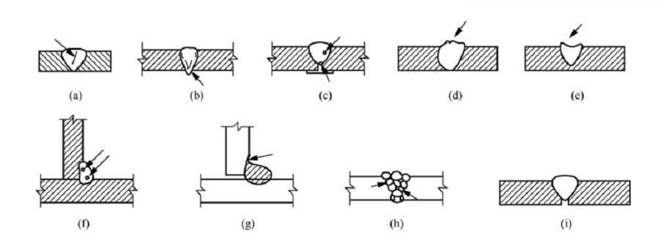


图 14.15 焊缝缺陷

(a)裂纹；(b)烧穿；(c)气孔；(d)焊瘤；(e)弧坑；(f)夹渣；(g)咬边；(h)未熔合；(i)未焊透



知识链接



焊接质量控制

(1) 焊工资质：持证上岗，合格焊位。

(2) 焊接工艺：焊接材料烘干、防潮，清理焊面，焊件定位；焊前焊后进行热处理，保证焊接环境温度、湿度、防风避雨；控制焊接过程温度。

(3) 焊接质量检验：焊接表面质量，无损探伤检验。

14.3.3 对接焊缝的构造要求

对接焊缝包括焊头对接焊缝和部分焊头对接焊缝。为了保证焊缝质量，对接焊件常做成坡口。坡口的形式大多与焊件的厚度有关。当焊件厚度很小(手工焊 6mm、埋弧焊 10mm)时，可采用直边缝。对于一般厚度的焊件，可采用具有斜坡口的单边 V 形或 V 形焊缝。斜坡口和根部间隙共同组成一个焊条能够运转的施焊空间，使焊缝易于焊透；钝边有托住熔化金属的作用。对于较厚的焊件($t>20$mm)，则采用 U 形、K 形、X 形坡口，如图 14.16 所示。

其中 V 形焊缝和 U 形焊缝为单面施焊，但在焊缝根部还需要补焊。没有条件补焊时，要事先在根部加垫块，如图 14.17 所示。当焊件可随意翻转施焊时，使用 K 形缝和 X 形缝较好。

在对接焊缝的拼接处，当焊件的宽度不同或厚度相差 4mm 以上时，应分别在宽度方向或厚度方向从一侧或两侧做成坡度不大于 1/4(对承受动荷载的结构)或 1/2.5(对承受静荷载的结构)，以使截面过渡缓和，减小应力集中，如图 14.18 所示。

在焊缝的起弧灭弧处，常会出现弧坑等缺陷，这些缺陷对承载力影响极大，故焊接时一般应设置引弧板或引出板，焊后割除，如图 14.19 所示。

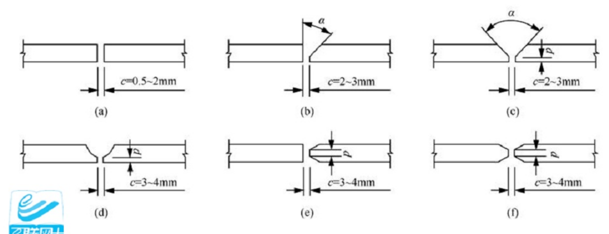


图 14.16　对接焊缝的坡口形式

(a)直边缘；(b)单边 V 形坡口；(c)V 形坡口

(d)U 形坡口；(e)K 形坡口；(f)X 形坡口

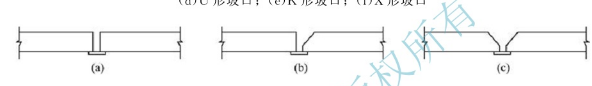


图 14.17　根部加垫块

(a)直边缝；(b)单边 V 形坡口；(c)双边 V 形坡口

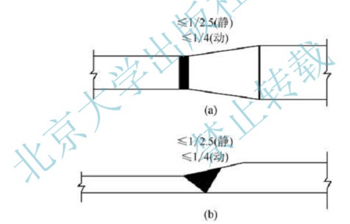


图 14.18　改变拼接处的宽度或厚度

(a)改变宽度；(b)改变厚度

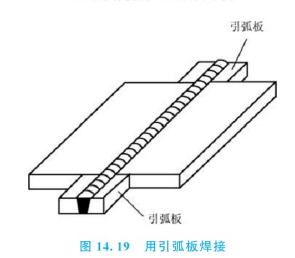


图 14.19　用引弧板焊接

特别提示

（1）在一般加引弧板的情况下，所有受压、受剪的对接焊缝，以及受拉的一、二级焊缝均与母材强度相等，不用进行强度计算，只有受拉的三级焊缝才需要进行强度计算。

（2）当斜焊缝倾角 $\theta \leqslant 56°$，即 $\tan\theta \leqslant 1.5$ 时，可认为焊缝与母材等强，不用计算。

14.3.4 角焊缝的构造要求

角焊缝是最常见的焊缝。角焊缝按其与作用力的关系分为正面角焊缝、侧面角焊缝及斜焊缝。焊缝按其截面形式分为直角角焊缝(图 14.20)、斜角角焊缝(图 14.21)。图中 h_f 为焊脚尺寸。

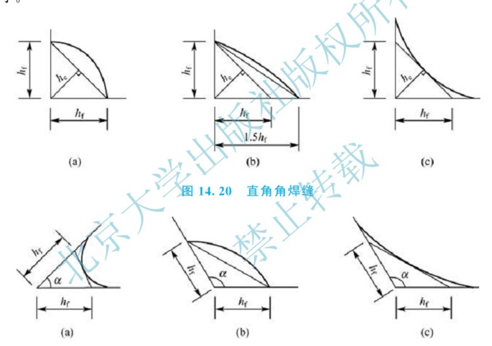


图 14.20 直角角焊缝

图 14.21 斜角角焊缝

当角焊缝的两焊脚边夹角为 90°时，称为直角角焊缝，如图 14.20 所示。图 14.20(a)为表面微凸的等腰直角三角形，施焊方便，是最常见的一种角焊缝形式，但是不能用于直接承受动力荷载的结构中，在直接承受动力荷载的结构中，正面角焊缝宜采用图 14.20(b)所示的平坦型，且长边沿内力方向；侧面角焊缝则采用图 14.20(c)所示的凹面式直角角焊缝。

两焊脚边的夹角 $\alpha>90°$或 $\alpha<90°$的焊缝称为斜角角焊缝，图 14.21 所示的斜角角焊缝常用于钢漏斗和钢管结构中。对于夹角 $\alpha>135°$或 $\alpha<60°$的斜角角焊缝，除钢管结构外，不宜用作受力焊缝。

（1）最小焊脚尺寸 $h_{f\min}$。角焊缝的焊脚尺寸 h_f 不能过小，否则焊缝会因输入能量过小而焊件厚度较大，以致施焊时冷却速度过快，产生淬硬组织，导致母材开裂。《钢结构工

程施工质量验收规范》规定，当采用手工焊时，有

$$h_{\mathrm{fmin}} \geqslant 1.5\sqrt{t_2}$$

式中，t_2——较厚焊件厚度(mm)。

焊脚尺寸取整毫米数，小数点以后都进为1。自动焊熔深较大，故所取最小焊脚尺寸可减小1mm；对T形连接的单面角焊缝，应增加1mm；当焊件厚 $t \leqslant 4$mm 时，取 $h_{\mathrm{fmin}} = t$。

(2) 最大焊脚尺寸 h_{fmax}。为了避免较薄焊件烧穿，减小焊接残余应力和残余变形，角焊缝的焊脚尺寸不宜过大。《钢结构工程质量验收规范》规定，除钢管结构外，角焊缝的焊脚尺寸 h_{f} 不宜大于较薄焊件厚度的1.2倍，如图14.22(a)所示，即

$$h_{\mathrm{fmax}} \leqslant 1.2t_1$$

式中，t_1——较薄焊件厚度(mm)。

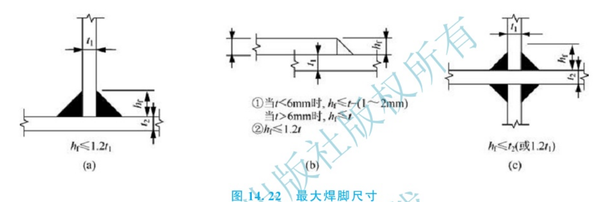


图14.22　最大焊脚尺寸

(a)T形连接；(b)搭接；(c)十字连接

对板边厚度为 t 的边缘角焊缝施焊，如图14.22(b)所示，为防止咬边，h_{fmax} 尚应满足下列要求。

① 当板件厚度 $t \leqslant 6$mm 时，$h_{\mathrm{fmax}} \leqslant t$。

② 当板件厚度 $t > 6$mm 时，$h_{\mathrm{fmax}} = t - (1 \sim 2)$mm。

如果另一焊件厚度 $t' < t$ 时，还应满足 $h_{\mathrm{f}} \leqslant 1.2\,t'$ 的要求。

(3) 侧面角焊缝的计算长度不宜大于 $60h_{\mathrm{f}}$，即 $l_{\mathrm{w}} \leqslant 60h_{\mathrm{f}}$。当计算长度大于上述限值时，其超过部分在计算中不予考虑。

(4) 角焊缝的最小计算长度 l_{wmin}。若 l_{w} 过小，则焊件局部受热严重，且起灭弧弧坑太近对焊缝强度影响较为敏感，会降低焊缝可靠性。因此，《钢结构设计规范》规定，侧面角焊缝或正面角焊缝的计算长度均不得小于 $8h_{\mathrm{f}}$ 及40mm。考虑焊缝两端的缺陷，其最小实际焊接长度还应加大 $2h_{\mathrm{f}}$。即计算长度 $l_{\mathrm{w}} \geqslant 8h_{\mathrm{f}}$ 及40mm，实际长度 $l = l_{\mathrm{w}} + 2h_{\mathrm{f}}$。

(5) 当板件端部仅有两条侧面角焊缝连接时(图14.23)，每条侧面角焊缝长度 l_{w} 不宜小于两侧面角焊缝之间的距离 b，即 $b/l_{\mathrm{w}} \leqslant 1$；且 $b \leqslant 16t$(当 $t > 12$mm 时)或190mm(当 $t \leqslant 12$mm时)，t 为较薄焊件的厚度。

(6) 杆件与节点板的连接焊接宜采用两面侧焊，也可用三面围焊，对角钢杆件可采用L形围焊，所有围焊的转角处必须连续施焊；对于非围焊情况，当角焊缝的端部在构件转角处时，可连续地做长度为 $2h_{\mathrm{f}}$ 的绕角焊(图14.23)。

(7) 在搭接连接中，搭接长度 $\geqslant 5t_{\min}$ 且 $\geqslant 25$mm(图14.24)。

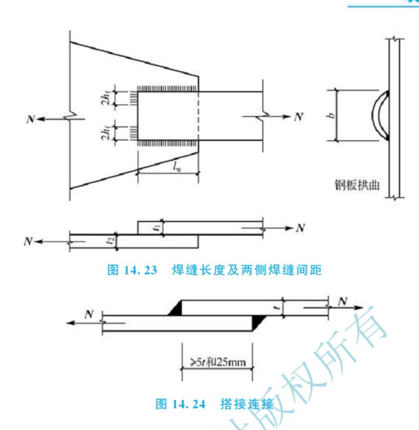


图 14.23 焊缝长度及两侧焊缝间距

图 14.24 搭接连接

14.3.5 焊缝符号表示法

《焊缝符号表示法》规定：焊缝代号由引出线、图形符号和辅助符号三部分组成。引出线由横线和带箭头的斜线组成。箭头指到图形上的相应焊缝处，横线的上面和下面用来标注图形符号和焊缝尺寸。当引出线的箭头指向焊缝所在的一面时，应将图形符号和焊缝尺寸等标注在水平横线的上面；当引出线的箭头指向焊缝所在的另一面时，则应将图形符号和焊缝尺寸等标注在水平横线的下面。必要时可在水平线的末端加一尾部作为其他说明之用。图形符号表示焊缝的基本形式，如用◣表示角焊缝，用 V 表示 V 形坡口的对接焊缝等。辅助符号表示辅助要求，如用▶表示现场安装焊缝等。

1. 对接焊缝的符号

对接焊缝的符号如图 14.25 所示。

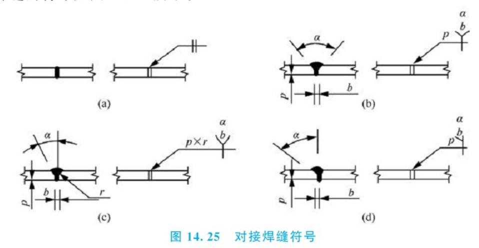


图 14.25 对接焊缝符号

(a)直焊缝；(b)V 形对接焊缝；(c)U 形对接焊缝；(d)单边 V 形对接焊缝

2. 角焊缝的符号

角焊缝的符号如图 14.26 所示。

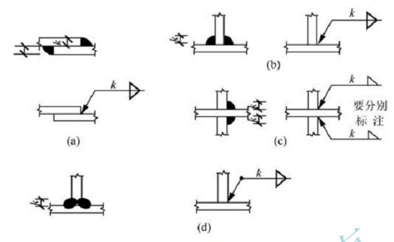


图 14.26 角焊缝符号

(a)搭接连接;(b)T 形连接;(c)十字连接;(d)熔透角焊缝

3. 不规则焊缝的标注

不规则焊缝的标注如图 14.27 所示。

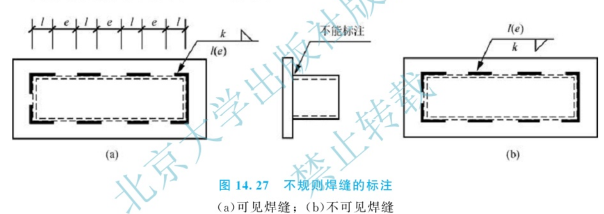


图 14.27 不规则焊缝的标注

(a)可见焊缝;(b)不可见焊缝

4. 相同焊缝符号

在同一张图上,当焊缝的形式、断面尺寸和辅助要求均相同时,可只选择一处标注焊缝的符号和尺寸,并加注“相同焊缝符号”,相同焊缝符号为 3/4 圆弧,绘在引出线的转折处,如图 14.28 所示。

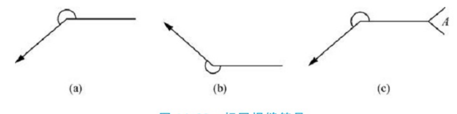


图 14.28 相同焊缝符号

5. 现场安装焊缝的表示

现场安装焊缝的表示如图 14.29 所示。

6. 较长角焊缝的标注

对较长的角焊缝,可直接在角焊缝旁标注焊缝尺寸 k ,如图 14.30 所示。

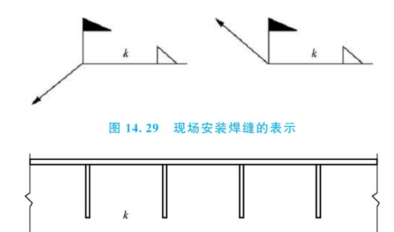


图 14.29 现场安装焊缝的表示

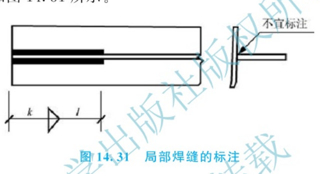


图 14.30 较长角焊缝的标注

7. 局部焊缝的标注

局部焊缝的标注如图 14.31 所示。

图 14.31 局部焊缝的标注

14.3.6 普通螺栓的排列和要求

1. 螺栓的规格

钢结构采用的普通螺栓形式为大六角头型，其代号用字母 M 与公称直径的毫米数表示，常用的有 M16、M20、M24。

2. 螺栓的排列

螺栓的排列通常分为并列、错列两种形式(图 14.32)。

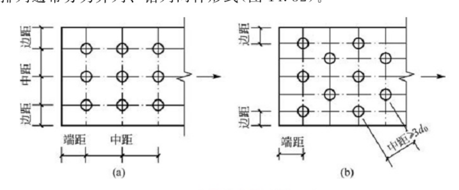




图 14.32 钢板的螺栓(铆钉)排列

(a)并列；(b)错列

螺栓在构件上的排列要满足以下三方面的要求。

(1) 受力要求。在受力方向螺栓的端距过小时，钢材有剪断或撕裂的可能。各排螺栓距和线距太小时，构件有沿折线或直线破坏的可能。对受压构件，当沿作用力方向螺栓栓距过大时，被连接板件间易发生鼓曲和张口现象。

(2) 构造要求。螺栓中距及边距不宜太大，否则钢板间不能紧密贴合，潮气易侵入缝隙使钢材锈蚀。

(3) 施工要求。螺栓间距不能太近，要保证有一定的空间，便于转动螺栓扳手拧紧螺帽。

螺栓排列的最大、最小容许距离见表 14－1。

表 14－1　螺栓或铆钉的最大、最小容许距离

<table>
<tr><th>名称</th><th colspan="3">位置和方向</th><th>最大容许距离
(取两者较少者)</th><th>最少容许距离</th></tr>
<tr><td rowspan="5">中心间距</td><td colspan="3">外排(垂直内力方向或顺内力方向)</td><td>$8d_0$ 或 $12t$</td><td rowspan="5">$3d_0$</td></tr>
<tr><td rowspan="3">中间排</td><td colspan="2">垂直内力方向</td><td>$16d_0$ 或 $24t$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">顺内力方向</td><td>构件受压力</td><td>$12d_0$ 或 $18t$</td></tr>
<tr><td>构件受拉力</td><td>$16d_0$ 或 $24t$</td></tr>
<tr><td colspan="3">沿对角线方向</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="4">中心至构件边缘距离</td><td colspan="3">顺内力方向</td><td rowspan="4">$4d_0$ 或 $8t$</td><td>$2d_0$</td></tr>
<tr><td rowspan="3">垂直内力方向</td><td colspan="2">剪切边或手工气割边</td><td rowspan="2">$1.5d_0$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">轧制边自动精密气割或锯割边</td><td>高强度螺栓</td></tr>
<tr><td>其他螺栓或铆钉</td><td>$1.2d_0$</td></tr>
</table>

3. 螺栓连接的构造要求

(1) 为了使连接可靠，每一杆件在节点上以及拼接接头的一端，永久性螺栓数不宜少于两个。

(2) 对于直接承受动力荷载的普通螺栓连接，应采用双螺帽或其他防止螺帽松动的有效措施。例如，采用弹簧垫圈，或将螺帽或螺杆焊死等方法。

(3) C 级螺栓与孔壁有较大间隙，只宜用于沿其杆轴方向受拉的连接。承受静力荷载结构的次要连接、可拆卸结构的连接和临时固定构件用的安装连接中，也可用 C 级螺栓承受剪力。但在重要的连接中，如制动梁或吊车梁上翼缘与柱的连接，由于传递制动梁水平支承反力，同时受到反复动力荷载作用，不得采用 C 级螺栓。柱间支承与柱的连接，以及在柱间支撑处吊车梁下翼缘的连接，因承受着反复的水平制动力和卡轨力，应优先采用高强度螺栓。

(4) 当采用高强螺栓连接时，拼接件不能采用型钢，只能采用钢板(型钢抗弯刚度大，不能保证摩擦面紧密结合)。

(5) 沿杆轴方向受拉的螺栓连接中的端板(法兰板)，应适当增强其刚度(如加设加劲肋)，以减少撬力对螺栓抗拉承载力的不利影响。

14.3.7 高强度螺栓连接

高强度螺栓连接分为摩擦型连接和承压型连接两种类型，螺栓由高强度钢经热处理做成，安装时施加强大的预拉力，使构件接触面间产生与预拉力相同的紧压力。摩擦型高强度螺栓就只利用接触面间的摩擦阻力传递剪力，其整体性能好、抗疲劳能力强，适用于承受动力荷载和重要的连接。承压型高强度螺栓连接允许外力超过构件接触面间的摩擦力，利用螺栓杆与孔壁直接接触传递剪力，承载能力比摩擦型提高较多。承压型高强度螺栓可用于不直接承受动力荷载的情况。因此，螺栓的预拉力 P(即板件间的法向压紧力)、摩擦面间的抗滑移系数和钢材种类等，都直接影响到高强度螺栓摩擦型连接的承载力。

高强度螺栓分大六角头型和扭剪型两种，如图 14.33 所示。这两种型号的螺栓都是通过拧紧螺帽，使螺杆受到拉伸作用产生预拉力，而被连接板件间产生压紧力。



(a)　　(b)

图 14.33　高强度螺栓

(a) 大六角头型；(b) 扭剪型

特别提示

在钢结构构件连接时，可单独采用焊接连接或螺栓连接，也可同时采用焊接和螺栓连接。一般情况下，翼缘采用焊缝连接，腹板采用螺栓连接。

14.4 轴心受力构件

14.4.1 轴心受力构件的应用

对平面桁架、塔架和网架、网壳等杆件体系，通常假设其节点为铰接连接。当杆件上无节间荷载时，则杆件内力只是轴向拉力或压力，这类杆件称为轴心受拉构件和轴心受压构件，统称轴心受力构件。轴心受力构件在工程中应用的一些实例如图 14.34 所示。

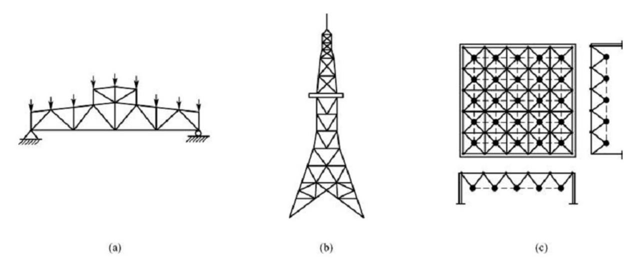


图 14.34 轴心受力构件在工程中的应用

(a)桁架；(b)塔架；(c)网架

例如，轴心压杆经常用作工业建筑的工作平台支柱。柱由柱头、柱身和柱脚三部分组成(图 14.35)。柱头用来支承平台或桁架，柱脚坐落在基础上将轴心压力传给基础。

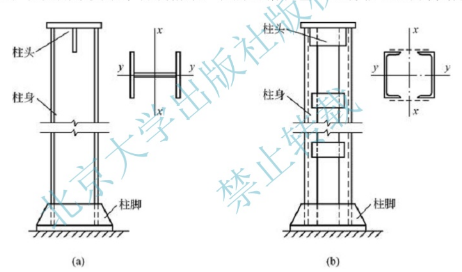


图 14.35 柱的组成

轴心受力构件的常用截面形式可分为实腹式和格构式两大类。

实腹式构件制作简单，与其他构件连接也比较方便。其常用形式有：单个型钢截面，如圆钢、钢管、角钢、T 型钢、槽钢、工字钢、H 型钢等；组合截面，由型钢或钢板组合而成的截面；一般桁架结构中的弦杆和腹杆，除 T 型钢外，常采用热轧角钢组合成 T 形的或十字形的双角钢组合截面；在轻型钢结构中则可采用冷弯薄壁型钢截面，如图 14.36 所示。

格构式构件容易实现压杆两主轴方向的等稳定性，刚度大，抗扭性能也好，用料较省。其截面一般由两个或多个型钢肢件组成(图 14.37)，肢件间通过缀条[图 14.38(a)]或缀板[图 14.38(b)]进行连接而成为整体，缀板和缀条统称为缀材。

轴心受力构件设计应同时满足承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求。对于承

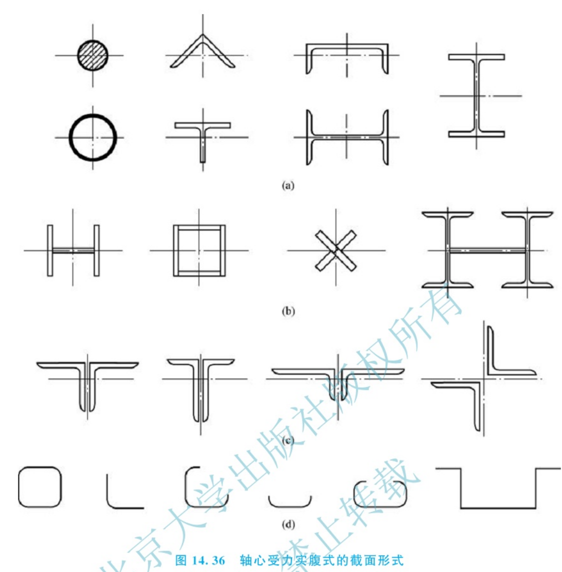


图 14.36 轴心受力实腹式的截面形式

(a)型钢；(b)组合截面；(c)双角钢；(d)冷弯薄壁型钢

载能力极限状态，受拉构件一般是强度条件控制，而受压构件则需同时满足强度和稳定的要求。对于正常使用极限状态，是通过保证构件的刚度，即限制其长细比来控制的。因此，轴心受拉构件设计则需分别进行强度和刚度的验算，而轴心受压构件设计则需分别进行强度、刚度和稳定性的验算。

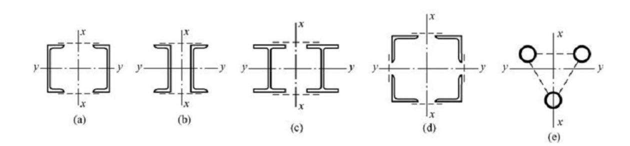


图 14.37 格构式构件的常用截面形式

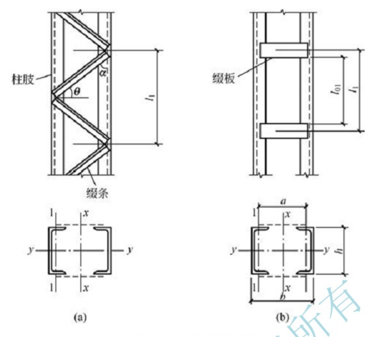


图 14.38 格构式构件的缀材布置

(a)桁架;(b)塔架

14.4.2 轴心受力构件的强度及刚度

1. 强度

轴心受力构件的强度，除高强度螺栓摩擦型连接除外，应按式(14-1)计算

$$\sigma=\frac{N}{A_n}\leqslant f \tag{14-1}$$

式中，N——构件的轴心拉力或压力设计值；

f——钢材的抗拉强度设计值；

A_n——构件的净截面面积。

高强度螺栓摩擦型连接处的强度应按式(14-2)计算

$$\sigma=\left(1-0.5\frac{n_1}{n}\right)\frac{N}{A_n}\leqslant f \text{ 且 } \sigma=\frac{N}{A}\leqslant f \tag{14-2}$$

式中，A——构件的全截面面积。

2. 刚度

轴心受力构件的刚度要求轴心受力构件的长细比不超过规定的容许长细比，即

$$\lambda=\frac{l_0}{i}\leqslant[\lambda] \tag{14-3}$$

式中，λ——构件的最大长细比；

l_0——构件的计算长度；

i——截面的回转半径；

$[\lambda]$——构件的容许长细比，见表 14-2 和表 14-3。

表 14-2 受拉构件的容许长细比[λ]

项次	构件名称	承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构		直接承受动力荷载的结构
		一般建筑结构	有重级工作制吊车的厂房	
1	桁架的杆件	350	250	250
2	吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑	300	200	—
3	其他拉杆、支撑、系杆（张紧的圆钢除外）	400	350	—

注：(1) 承受静力荷载的结构中，可仅计算受拉构件在竖向平面内的长细比。
(2) 对于直接或间接承受动力荷载的结构，计算单角钢受拉构件的长细比时，应采用角钢的最小回转半径；但在计算交叉杆件平面外的长细比时，应采用与角钢肢边平行轴的回转半径。
(3) 中、重级工作制吊车桁架的下弦杆长细比不宜超过200。
(4) 在设有夹钳吊车或刚性料耙吊车的厂房中，支撑(表中第2项除外)的长细比不宜超过300。
(5) 受拉构件在永久荷载与风荷载组合作用下受压时，其长细比不宜超过250。
(6) 跨度等于或大于60m的桁架，其受拉弦杆和腹杆的长细比不宜超过300(承受静力荷载)或250(承受动力荷载)。
(7) 柱间支撑按拉杆设计时，竖向荷载作用下柱子的轴力应按无支撑时考虑。

表 14-3 受压构件的容许长细比

项次	构件名称	容许长细比
1	轴心受压柱、桁架和天窗架构件	150
	柱的缀条、吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑	
2	支撑(吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑除外)	200
	用以减小受压构件计算长度的杆件	

注：(1) 桁架(包括空间桁架)的受压腹杆，当其内力小于或等于承载能力的50%时，容许长细比值可取为200。
(2) 计算单角钢受压构件的长细比时，应采用角钢的最小回转半径；但在计算交叉杆件平面外的长细比时，应采用与角钢肢边平行轴的回转半径。
(3) 跨度大于或等于60m的桁架，其受压弦杆和端压杆和直接承受动力荷载的受压腹杆的长细比不宜大于120。
(4) 验算容许长细比时，可不考虑扭转效应。

应用案例

如图14.39所示为一桁架轴心受拉杆件，其截面为双轴对称焊接工字钢，翼缘 $b=200$，$t=12\text{mm}$，$h_0=220\text{mm}$，$t_w=10\text{mm}$，翼缘为火焰切割边，钢材为Q235，该柱对两个主轴的计算长度分别为 $l_{0x}=6\text{m}$，$l_{0y}=3\text{m}$，验算轴心受拉杆件。

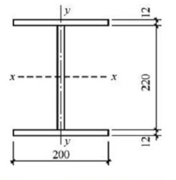


图 14.39 桁架轴心受拉杆件

解：截面特征：

$$A=220\times10+2\times200\times12=7000(\text{mm}^2)=70\text{cm}^2$$

$$I_x=1\times22^3/12+2\times20\times1.2\times11.6^2=7346(\text{cm}^4)$$

$$I_y = 2 \times 1.2 \times 20^3 / 12 = 1600 (\text{cm}^4)$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{7346}{70}} = 10.24 (\text{cm})$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1600}{70}} = 4.78 (\text{cm})$$

杆件的强度:

$$\frac{N}{A} = \frac{1000 \times 10^3}{7000} = 142.86 (\text{N/mm}^2) < f = 215 \text{N/mm}^2$$

杆件的刚度:

$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{600}{10.24} = 58.6 < [\lambda] = 350,\ \lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{300}{4.78} = 62.8 < [\lambda] = 350$$

14.4.3 轴心受压构件的整体稳定性

钢结构及其构件除应满足强度及刚度条件外，还应满足稳定条件。所谓稳定，是指结构或构件受荷变形后，所处平衡状态的属性。

当结构处于不稳定平衡时，轻微扰动将使结构整体或其组成构件产生很大的变形而最后丧失承载能力，这种现象称为失去稳定性。在钢结构工程事故中，因失稳导致破坏者较为常见。因此，钢结构的稳定问题必须加以足够的重视。

1. 理想轴心受压构件的屈曲

所谓理想轴心受压杆件，就是杆件为等截面理想杆件，压力作用线与杆件形心轴重合，材料均质、各向同性、无限弹性且符合虎克定律，没有初始应力的轴心受压杆件。此种杆发生失稳现象，也可以称为屈曲。理想轴心受压构件的屈曲形式可分为弯曲屈曲、扭转屈曲和弯扭屈曲，如图 14.40 所示。

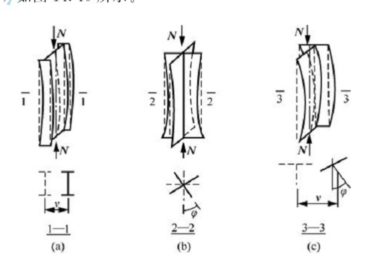


图 14.40 理想轴心受压构件的屈曲形式

(a)弯曲屈曲；(b)扭曲屈曲；(c)弯扭屈曲

特别提示

（1）受压构件不宜采用无任何对称轴的截面。

（2）理想轴心受压构件在实际工程中是不存在的，在设计时应考虑截面残余应力、构件初弯曲和受力初偏心的影响。

2. 轴心受压构件的整体稳定计算

实际工程中，理想轴心压杆并不存在，实际构件都具有一些初始缺陷和残余应力，它们使得压杆稳定承载力下降。对轴心受压构件的整体稳定计算采用式(14-4)。

$$\frac{N}{\varphi A f} \leqslant 1.0 \tag{14-4}$$

式中，N——轴心压力设计值；

A——构件的毛截面面积；

f——钢材抗压强度设计值；

φ——轴心受压构件的稳定系数。

3. 轴心受压构件的局部稳定

实腹式轴心受压构件在轴向压力作用下，在丧失整体稳定之前，其腹板和翼缘都有可能达到极限承载力而丧失稳定，此种现象称为局部失稳。图14.41所示为在轴心压力作用下，腹板和翼缘发生侧向鼓曲和翘曲的失稳现象。当轴心受压构件丧失局部稳定后，由于部分板件屈曲而退出工作，使构件有效截面减小，降低了构件的刚度，从而加速了构件的整体失稳。

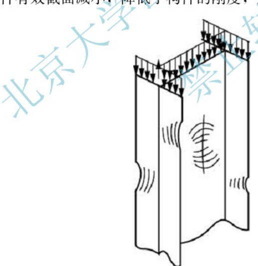


图14.41 局部失稳

特别提示

轴心受压构件的计算包括三个方面：强度、刚度和稳定性。大多数情况是由稳定性起控制作用。因此，在钢结构的设计和施工中，均应保证构件的稳定性。

14.5 受弯构件

承受横向荷载的构件称为受弯构件，其形式有实腹式和格构式两个系列，在实际工程中受弯构件一般指前一类。

14.5.1 受弯构件梁的分类

钢梁分为型钢梁和组合梁两大类。

型钢梁的截面有热轧工字钢[图 14.42(a)]、热轧 H 型钢[图 14.42(b)]和槽钢[图 14.42(c)]3 种，其中以 H 型钢的截面分布最为合理，翼缘内外边缘平行，与其他构件连接较方便，应予优先采用。某些受弯构件(如檩条)采用冷弯薄壁型钢[图 14.42(d)～(f)]较经济，但防腐要求较高。

组合梁一般采用三块钢板焊接而成的工字形截面[图 14.42(g)]，或由 T 型钢(H 型钢剖分而成)中间加板的焊接截面[图 14.42(h)]。当焊接组合梁翼缘需要很厚时，可采用两层翼缘板的截面[图 14.42(i)]。受动力荷载的梁如钢材质量不能满足焊接结构的要求时，可采用高强度螺栓或铆钉连接而成的工字形截面[图 14.42(j)]。荷载很大而高度受到限制或梁的抗扭要求较高时，可采用箱形截面[图 14.42(k)]。组合梁的截面组成比较灵活，可使材料在截面上的分布更为合理，节省钢材。

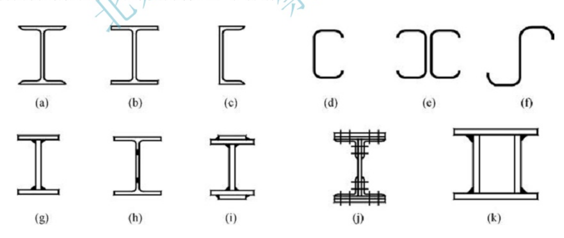


图 14.42 梁的截面类型

在土木工程中，梁格通常由若干梁平行或交叉排列而成，图 14.43 即为工作平台梁格布置示例。

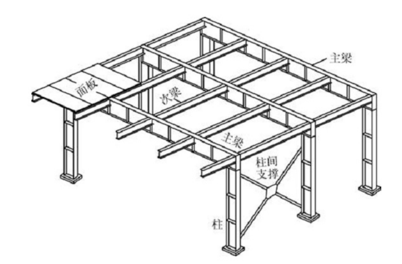


图 14.43　工作平台梁格布置示例

14.5.2 受弯构件的整体稳定

1. 整体稳定的概念

梁在竖向荷载作用下，当荷载较小时，梁开始弯曲并产生变形，此时梁的弯曲平衡是稳定的，当弯矩增大到某一数值时，钢梁会在偶然的很小的侧向干扰力下，突然向侧面发生较大的弯曲，同时发生扭转，如图 14.44 所示。这时即使除去侧向干扰力，侧向弯扭变形也不再消失，如果弯矩再稍微增大，则弯扭变形迅速增大，从而使梁失去承载力。这种因弯矩超过临界限值而使钢梁从稳定平衡状态转变为不稳定平衡状态并发生侧向弯扭屈曲的现象，称为钢梁弯曲扭转屈曲或钢梁丧失稳定性。使梁丧失整体稳定的弯矩或荷载称为临界弯矩或临界荷载。

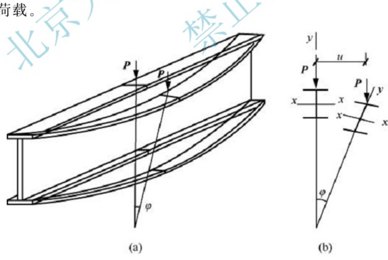


图 14.44　梁整体失稳

2. 增强梁整体稳定的措施

一般可采用下列方法增强梁的整体稳定性。

(1) 增大梁截面尺寸，其中增大受压翼缘的宽度是最有效的。

(2) 增加侧向支承体系，减小构件侧向支承点的距离，侧向支承应设在受压翼缘处，如图 14.45 所示。

(3) 当跨内无法增设侧向支承时，宜采用闭合箱形截面。

(4) 增加梁两端的约束，提高其整体稳定性。

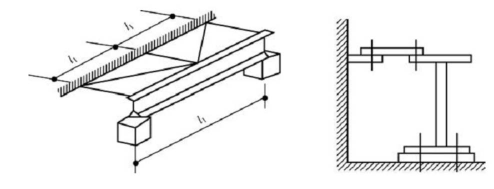


图 14.45 梁侧向支承体系



小　结

(1) 本模块对钢结构做了全面的讲述，包括钢结构的组成、特点及应用范围，钢结构的材料性能，钢结构的连接，钢结构轴心受力构件强度、刚度和稳定性的概念及计算，受弯构件的稳定性。

(2) 钢结构是由钢板、圆钢、钢管、钢索、各种型钢等钢材，经过加工、连接、安装组成。

(3) 钢结构的特点：轻质高强，塑性、韧性好，有良好的焊接性能，制作简便、施工方便，可重复使用，耐热不耐火，耐腐蚀性差，呈现低温冷脆性。

(4) 钢材的机械性能包括：屈服强度，抗拉强度，塑性，韧性，可焊性。影响钢材性能的主要因素有：化学成分的影响，焊接性能，冶炼与轧制，温度的影响，应力集中现象。

(5) 钢结构的连接包括焊接、螺栓连接和铆接。

(6) 对接焊缝和角焊缝的表示方法。

(7) 轴心受力包括轴心受拉和轴心受压。轴心受拉杆件需进行强度和刚度验算，轴心受压杆件应进行强度、刚度和稳定性的验算。

(8) 受弯构件的截面类型，受弯构件的整体稳定性的概念。



习　题

一、选择题

1. 大跨度结构常采用钢结构的主要原因是钢结构(　　)。

A. 密封性好　　B. 自重轻　　C. 制造工厂化　　D. 便于拆装

2. 钢材的设计强度是根据(　　)确定的。

A. 比例极限　　B. 弹性极限　　C. 屈服强度　　D. 极限强度

3. Q235 钢按照质量等级分为 A、B、C、D 共 4 级，由 A 到 D 表示质量由低到高，其分类依据是(　　)。

A. 冲击韧性　　B. 冷弯试验　　C. 化学成分　　D. 伸长率

4. 钢号 Q345A 中的 345 表示钢材的(　　)。

A. f_p值　　B. f_u值　　C. f_y值　　D. f_{vy}值

5. 钢材所含化学成分中，需严格控制含量的有害元素为(　　)。

A. 碳、锰　　B. 钒、锰　　C. 硫、氮、氧　　D. 铁、硅

6. 对于普通螺栓连接，限制端距 $e \geqslant 2d_0$ 的目的是避免(　　)。

A. 螺栓杆受剪破坏　　B. 螺栓杆受弯破坏

C. 板件受挤压破坏　　D. 板件端部冲剪破坏

7. Q235 与 Q345 两种不同强度的钢材进行手工焊接时，焊条应采用(　　)。

A. E55 型　　B. E50 型　　C. E43 型　　D. H10MnSi

8. 在搭接连接中，为了减小焊接残余应力，其搭接长度不得小于较薄焊件厚度的(　　)。

A. 5 倍　　B. 10 倍　　C. 15 倍　　D. 20 倍

9. 承压型高强度螺栓连接比摩擦型高强度螺栓连接(　　)。

A. 承载力低，变形大　　B. 承载力高，变形大

C. 承载力低，变形小　　D. 承载力高，变形小

10. 对于直接承受动力荷载的结构，宜采用(　　)。

A. 焊接连接　　B. 普通螺栓连接

C. 摩擦型高强度螺栓连接　　D. 承压型高强度螺栓连接

二、简答题

1. 钢结构对钢材的性能有哪些要求？这些要求用哪些指标来衡量？
2. 钢材受力有哪两种破坏形式？它们对结构安全有何影响？
3. 钢结构的连接方法有哪些？
4. 焊缝的形式主要有几类？
5. 角焊缝的尺寸有哪些构造要求？
6. 普通螺栓连接和高强度螺栓连接有哪些相同点和不同点？
7. 怎样计算轴心受力构件的强度和刚度？
8. 什么是轴心受压的整体稳定性？
9. 什么是受弯的整体稳定性？保证梁整体稳定的措施有哪些？



附录 A

实例一：混合结构办公楼建筑施工图及结构施工图



建施—1

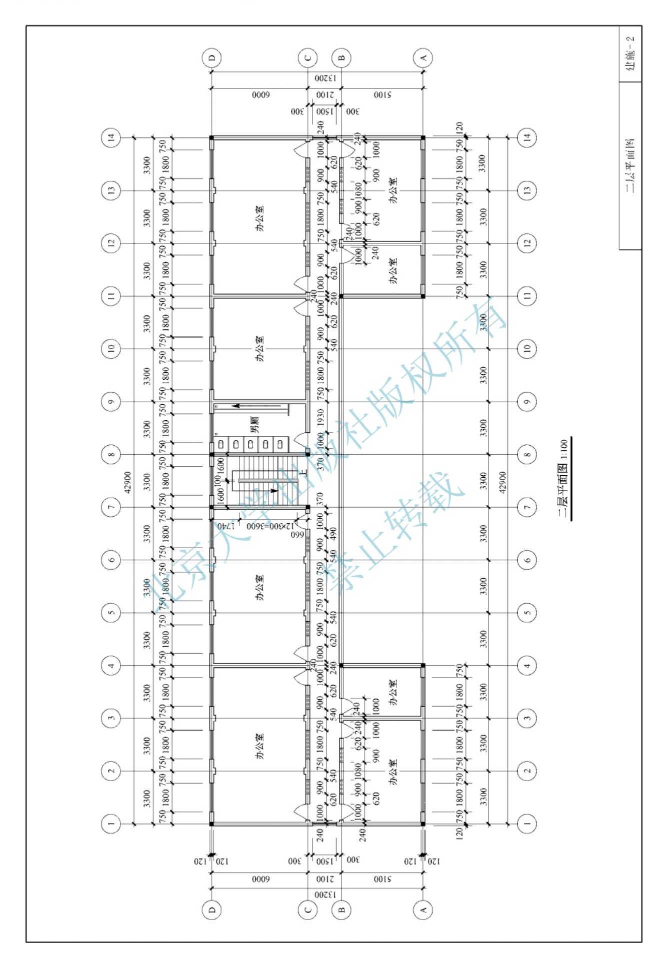
一层平面图

办公室

女厕

储物间

一层平面图 1:100

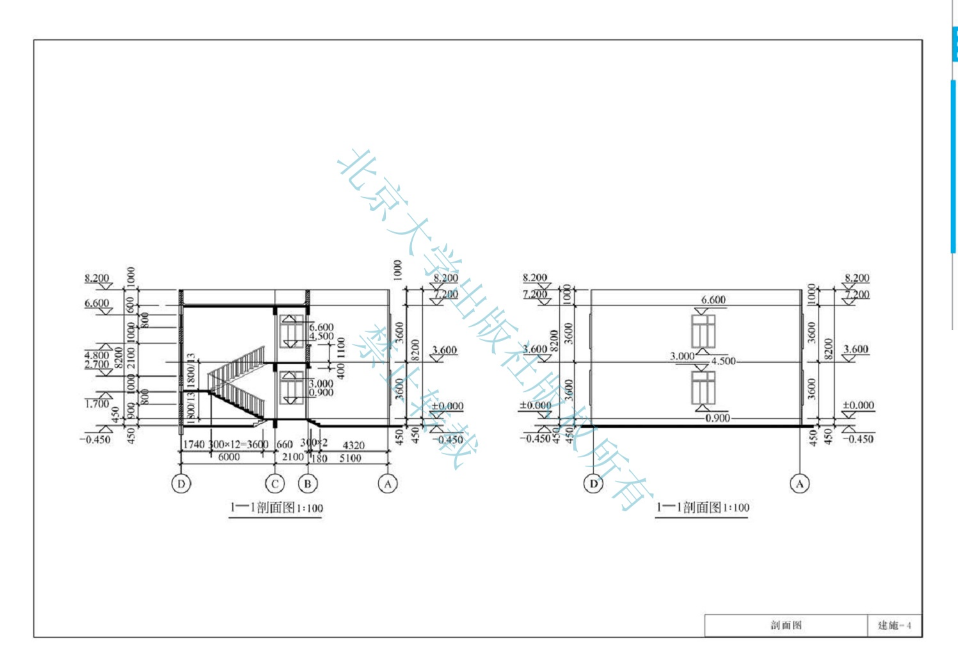

二层平面图 1:100
建施-2
二层平面图
办公室
男厕
13200
6000
2100
5100
42900

建施-3

立面图

①~⑭立面图 1:100

⑭~①立面图 1:100


8.200
7.200
6.600
4.800
2.700
1.700
3.600
±0.000
-0.450
6.600
4.500
3.000
0.900
1740
300×12=3600
660
300×2
4320
6000
2100
180
5100
1800/13
D
C
B
A
1—1剖面图 1:100
1—1剖面图 1:100
剖面图
建施-4

结构设计总说明

一、工程概况

本工程为××学校办公楼砖混结构，结构安全等级为二级，场地类别为Ⅲ类，丙类建筑，地基基础设计等级为丙级；砌体砌筑质量等级为B级。

设计合理使用年限为50年，±0.000相对黄海高程为98.500m。

二、设计依据

1. 建筑结构制图标准 （GB/T 50105—2001）
2. 建筑结构荷载规范 （GB 50009—2001）
3. 混凝土结构设计规范 （GB 50010—2002）
4. 建筑抗震设计规范（2008年版） （GB 50011—2001）
5. 建筑地基基础设计规范 （GB 50007—2002）
6. 建筑地基处理技术规范 （JGJ 79—2002 J220—2002）
7. 砌体结构设计规范 （GB 50003—2001）
8. 建筑结构可靠度设计统一标准 （GB 50068—2001）
9. 混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图 （03G101—1、04G101—3）
10. 住宅工程质量通病防治技术规程 （DBJ 41/070—2005）
11. 河南省02系列结构标准设计图集 （DBJT 19—01—2002）

三、场地及基础

1. 基础设计依据××勘察院（2008年03月）提供的××办公楼《岩土工程勘察报告》进行设计，基础持力层选择第1层粉土层上，地基承载力特征值 f_{a}=145 kPa；建设场地地貌单一，无湿陷、膨胀、液化等不良地质情况。
2. 开挖基槽时，不应扰动土的原状结构，如经扰动，应挖除扰动部分，根据土的压缩性选用级配砂石进行回填处理，压实系数应大于0.95。
3. 基础施工前应进行验槽，如发现土质与地质报告不符合时，需会同勘察、施工、设计、建设、监理单位共同协商研究处理。
4. 机械挖土时应按有关规范要求进行，坑底应保留200 mm厚的土层用人工开挖，基槽开挖中如发现地基有异常情况，应及时通知设计人员，验槽合格后方可继续施工。

四、结构荷载（kN/m²）

1. 办公室、卫生间 2.0　4. 走廊 2.5
2. 非上人屋面 0.5　5. 基本风压 0.45
3. 楼梯 2.0　6. 基本雪压 0.40

注：未经技术鉴定或设计许可，不得改变结构用途和使用环境。

五、主要结构材料

1. 混凝土强度等级

   基础垫层：C15；基础C30；其余现浇混凝土均用C25。
2. 钢筋采用：HPB300级（Φ）；HRB400级（Φ）；钢板采用Q235钢。

   钢筋设计强度：HPB300：$f_{y}=f_{y}'=210$ N/mm²；HRB400：$f_{y}=f_{y}'=360$ N/mm²。
3. 当钢筋采用焊接时，HPB300钢筋用E43××焊条，HRB400钢筋用E50××焊条，按《钢筋焊接及验收规程》（JGJ 18—2003）施工。
4. 砌体材料：墙体采用MU10蒸压粉煤灰砖，±0.000以下采用M10水泥砂浆，±0.000以上采用M10混合砂浆。蒸压粉煤灰砖墙应采用黏结性砂浆砌筑。

六、工程抗震

1. 本工程抗震设防烈度7度，设计基本地震加速度值为0.15g，设计地震分组为第一组，计算风荷载时，地面粗糙度取B类。
2. 钢筋直径≥22mm时，应采用焊接头或机械接头（机械接头系指墩粗直螺纹钢筋接头或冷挤压接头）；直径<22mm时可采用绑扎接头；条件允许时尽量采用焊接接头。钢筋采用焊接或机械连接必须符合规范和经过检验。图中未注明的钢筋搭接长度及锚固长度按国家标准16G101—1第34页的有关规定执行。
3. 本工程所有的柱及梁，其箍筋及拉筋的末端均应做成不小于135°的弯钩，弯钩端头平直段长度不应小于10d（d为箍筋或拉筋的直径）。
4. 构造柱、圈梁说明及抗震构造详图详见02YG001—1第1～15页，防止或减轻墙体裂缝的加强构造大样详见02YG001—1第11～18。

七、通用性构造说明

1. 雨篷及挑檐等完全外露构件及±0.000以下构件与土接触的面均为二b类环境，卫生间为二a类环境，其余为一类环境。
2. 图纸中未注明的钢筋保护层厚度不应小于钢筋的公称直径，且应符合下表规定：

环境类别		基础	梁		柱		板	
			≤C20	C25～C45	≤C20	C25～C45	≤C20	C25～C45
一		40	30	25	30	30	20	15
二	a			30		30		20
	b			35		35		25

埋在土中的混凝土柱竖向纵筋与一层纵筋上下对齐。

在任何情况下受力钢筋的锚固长度不应小于300 mm。

3. 本工程所有后砌120厚墙均采用M5混合砂浆砌筑，施工时应注意在承重墙与后砌墙对应部位预留锚拉筋，墙顶用斜砖塞紧，保持墙体顶部与梁紧密结合。
4. 本工程构造柱设置位置以楼层平面图为准，构造柱除注明外纵筋下端均锚入墙下基础内，构造柱纵筋上端伸至屋面或女儿墙顶。构造柱施工时，应先砌墙后浇柱构造柱构造详02YG001—1第8～11页，构造柱纵筋的锚固和搭接详见02YG001—1第12～17页，与构造柱相邻的砖垛小于240mm时，此砖垛改用和构造柱同级别的素混凝土与构造柱整浇在一起，女儿墙构造柱间距不大于4 m，构造做法详见02YG001—1第23～26页。
5. 本工程于每层楼（屋）面所有承重墙体均设置圈梁，配筋见单项设计要求。
6. 本工程所有门窗洞口上方过梁均选用02YG301中对应跨度之3级矩形现浇过梁即K(S)GLA24××2(××—梁跨)。承重横墙设置施工洞及其他专业墙体留洞宽度大于300mm时，应设置3级过梁。所有门窗过梁应配合建筑图做好门窗套及线脚。当门窗洞顶与圈梁之间的间距小于过梁高时，洞顶过梁和按照图一要求合并现浇。
7. 圈梁与圈梁、圈梁与现浇梁之间均应按照相关规定进行连接。
9. 预制空心楼板端部与圈梁的连接构造详见02YG201第91～96页。
10. 砖墙上现浇梁端部除与构造柱连接或特别注明外均自墙边伸入墙体不小于120 mm。
11. 双向板的底部钢筋短跨钢筋置下排。
12. 板内分布钢筋包括楼梯跑板，除注明者外，按照如下要求：

受力钢筋直径/mm	分布钢筋直径间距
6～10	Φ6@250
12～14	Φ8@250

13. 沿外墙于各层窗台下方的第一和第二道水平灰缝内设置2Φ6通长钢筋。
14. 本工程屋面上人孔周边构造加强钢筋设置要求详见图二。

八、相关专业说明

1. 建筑门窗和屋面女儿墙、楼梯、栏板等的预埋件，必须配合建筑图纸和其总说明有关部分要求施工，楼梯间分开施工时，应注意在相邻的梁处预留钢筋。
2. 电气专业（详见电施相关图纸）有避雷接地要求的构造柱，该柱内应有两根钢筋上下焊通，作为引下线，施工中应将这两根钢筋做好标记，以利施工。防雷引下线下端与基础内钢筋焊牢，上端伸出对应屋面之女儿墙顶面200mm与屋面防雷网相焊。

九、其他

1. 图中长度单位为毫米（mm），结构标高单位为米（m）。
2. 本工程土建施工单位应对各专业的留洞留槽及预埋件等需现场配合的各工种图纸进行核对，且与安装单位密切配合施工，正确预留图中所注明的留洞留槽及预埋件。
3. 本工程开工前应组织参建各方进行图纸会审工作，弄清设计意图，对图纸上的错漏及时提出，复核无误后方可施工。
4. 本图纸说明未尽之处，按相关施工及验收规范、规程要求认真施工。
5. 图纸说明中凡与本说明不符者，均以单项设计说明为准。

圈梁钢筋 ②　圈梁标高　洞顶标高　① 250　L　250　H

洞口处圈梁过梁合并示意

图一

800　800　2Φ12放下排，余同

屋面上人孔加强构造

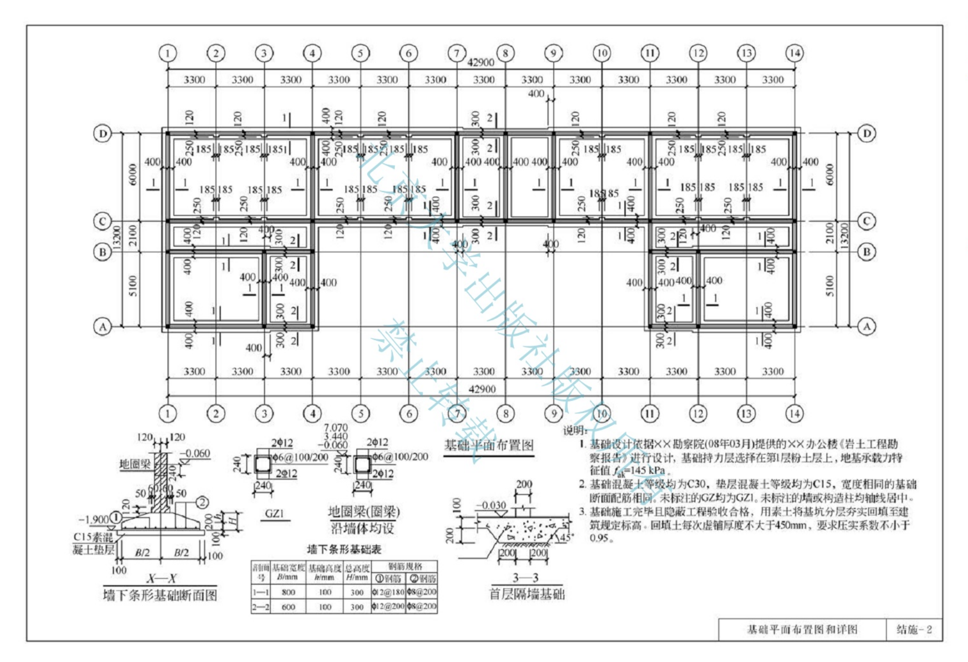
图二

洞口宽度 L/m	<1.2	1.5≥L≥1.2	1.8≥L≥1.5	L≥1.8
①号钢筋	2Φ12	2Φ14	2Φ16	2Φ18
②号钢筋	Φ6@150	Φ6@150	Φ6@100	Φ6@100

图 纸 目 录

图纸编号		图纸名称	张数	图幅	附注
新图	标、通、统、重用图				
01		结构设计总说明图纸目录	1	A2	结施-1
02		基础平面布置图和详图	1	A2	结施-2
03		二层楼面结构布置图	1	A2	结施-3
04		屋面结构布置图	1	A2	结施-4
05		梁配筋图	1	A2	结施-5
06		楼梯详图	1	A2	结施-6
	02YG001-1	砌体结构构造详图（豫省标）			
	02YG201	预应力混凝土空心板（豫省标）			
	02YG301	钢筋混凝土过梁（豫省标）			

结构设计总说明及图纸目录　结施-1



墙下条形基础表

剖面号	基础宽度 B/mm	基础高度 h/mm	总高度 H/mm	钢筋规格 ①钢筋	②钢筋
1—1	800	100	300	Φ12@180	Φ8@200
2—2	600	100	300	Φ12@200	Φ8@200

二层楼面结构布置图

说明：1. 材料规定详见结构总说明；图中未注明的现浇板厚均为100 mm。
2. 构造柱定位及配筋见基础平面布置图；未注明的墙体均轴线居中。
3. 楼层梁配筋详图见结施-5。
4. 外廊每个挑梁尽端均设置GZ2（锚入边梁伸至压顶）。

① 压顶详图

走廊栏板及屋面女儿墙

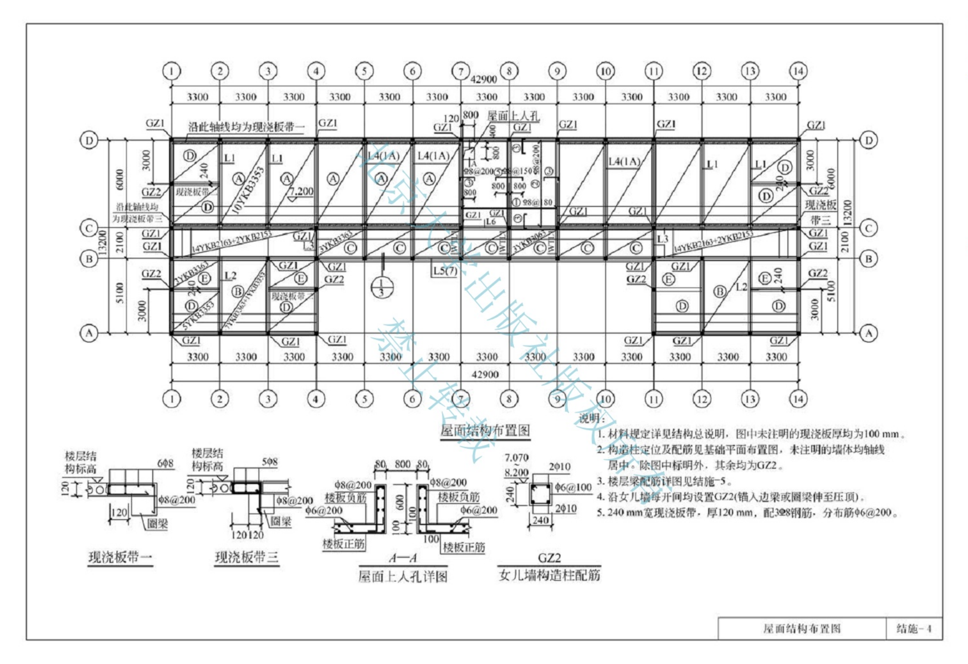
现浇板带一

现浇板带二

GZ2

栏板构造柱配筋

二层楼面结构布置图	结施-3


屋面结构布置图
说明：
1. 材料规定详见结构总说明，图中未注明的现浇板厚均为100 mm。
2. 构造柱定位及配筋见基础平面布置图，未注明的墙体均轴线居中。除图中标明外，其余均为GZ2。
3. 楼层梁配筋详图见结施-5。
4. 沿女儿墙每开间均设置GZ2(锚入边梁或圈梁伸至压顶)。
5. 240 mm宽现浇板带，厚120 mm，配3Φ8钢筋，分布筋Φ6@200。
现浇板带一
现浇板带三
A—A
屋面上人孔详图
GZ2
女儿墙构造柱配筋
屋面结构布置图
结施-4

梁配筋图　结施-5

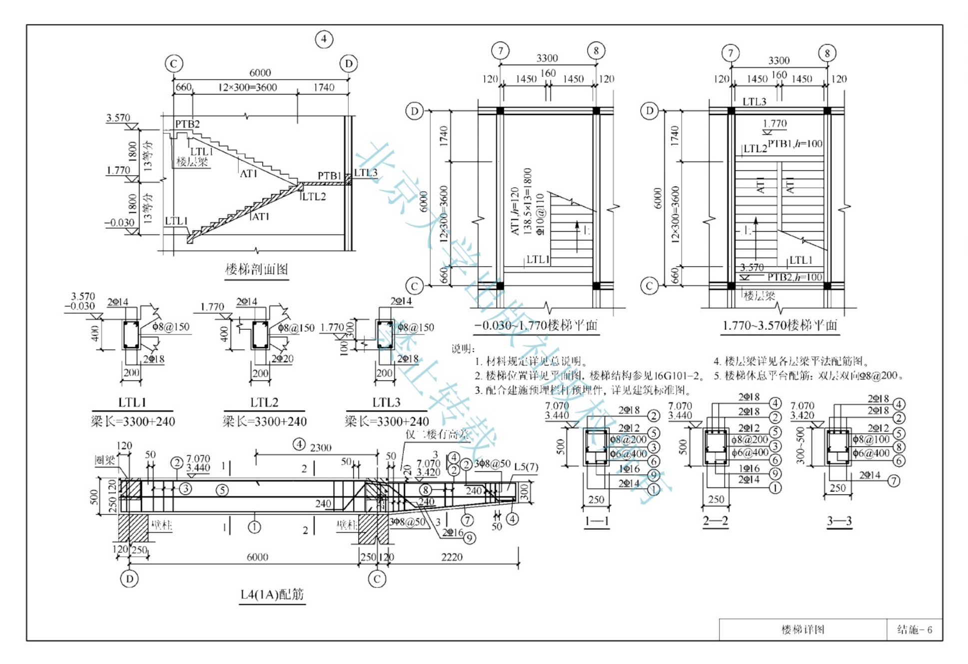
L1配筋

L2配筋

XTL1[WTL1]配筋

L3[L6]配筋

L5(7)配筋

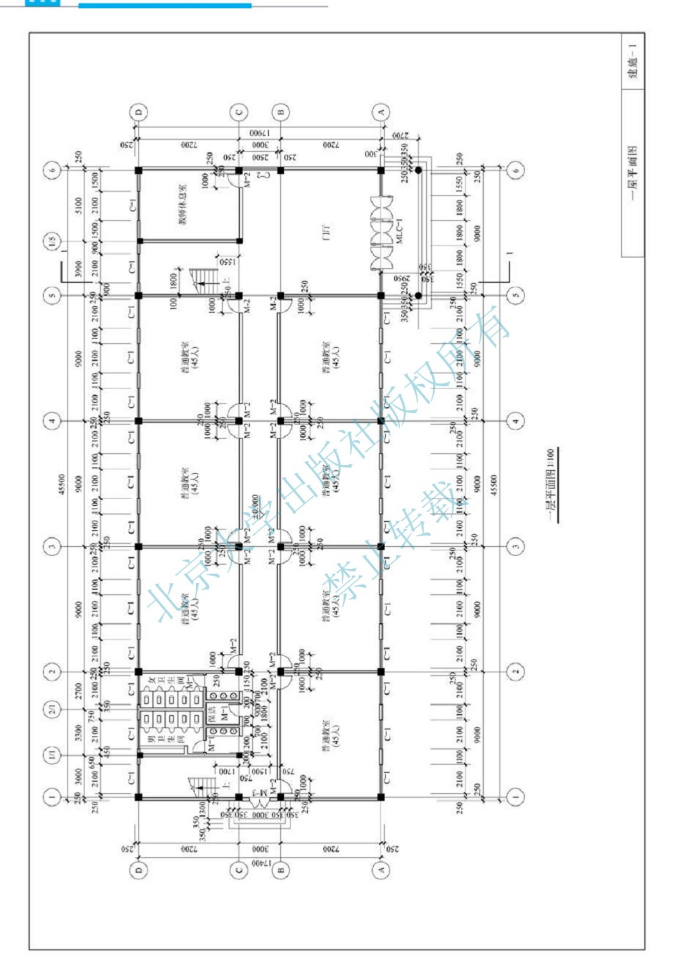

楼梯剖面图
LTL1
梁长=3300+240
LTL2
梁长=3300+240
LTL3
梁长=3300+240
L4(1A)配筋
−0.030~1.770楼梯平面
1.770~3.570楼梯平面
AT1,h=120
138.5×13=1800
Φ10@110
PTB1,h=100
PTB2,h=100
说明：
1. 材料规定详见总说明。
2. 楼梯位置详见平面图，楼梯结构参见16G101−2。
3. 配合建施预埋栏杆预埋件，详见建筑标准图。
4. 楼层梁详见各层梁平法配筋图。
5. 楼梯休息平台配筋：双层双向Φ8@200。
1—1
2—2
3—3
楼梯详图
结施－6
北京大学出版社版权所有
禁止转载



附录 B

实例二： 框架结构教学楼建筑施工图及结构施工图




建施一1
一层平面图
一层平面图 1:100
教师休息室
门厅
普通教室
(45人)
女卫生间
男卫生间
保洁
MLC-1
17900
17400
45500

建施－2

二层平面图

普通教室（45人）

教师休息室

二层平面图 1:100



建施-3
立面图
①~⑥立面图 1:100
⑥~①立面图 1:100

结构设计总说明

1. 工程概况

本工程为××学校教学楼，位于××市××路。主体地上2层，室内外高差0.450m，建筑高度7.350 m。本工程设计±0.000标高对应黄海高程为98.300 m。结构体系为全现浇钢筋混凝土框架结构。采用天然地基，柱下独立基础。

2. 建筑结构安全等级及设计使用年限

2.1 建筑结构安全等级： 二级

2.2 设计使用年限： 50年

2.3 建筑抗震设防类别： 重点设防类乙类

2.4 地基基础设计等级： 丙级

2.5 抗震等级： 现浇框架抗震等级为三级，该项目为重点设防类建筑，按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施，即框架采取二级抗震构造措施。

3. 自然条件

3.1 基本风压： W_0=0.45 kN/m²（50年重现期）

地面粗糙度类别： B类

3.2 场地地震基本烈度： 7度

抗震设防烈度： 7度(0.15g)（设计地震分组第一组）

建筑场地类别为： Ⅱ类

4. 场地的工程地质条件

4.1 本工程基础设计依据××勘测院2008年10月20日提供的××学校教学楼《岩土工程勘察报告》(详勘)进行设计。拟建场地自上而下各土层的工程地质特征如下：

(1) 粉土1层，层底埋深2.1~2.60 m　(3) 粉土3层，层底埋深6.80~7.50 m

(2) 粉土2层，层底埋深3.80~4.20 m　(4) 粉土4层，层底埋深未揭穿

4.2 地下水条件

场地地下水对混凝土无腐蚀性，对混凝土中钢筋具弱腐蚀性，历史最高水位为自然地坪下3.00 m

4.3 场地土分析评价

拟建场地无液化及湿陷地质情况，未发现影响工程安全的地下埋藏物，属于可进行建设的一般场地。

4.4 基础方案及结论

根据地质报告建议采用天然地基，独立基础，选择第1层作为持力层。

5. 本工程设计遵循的标准、规范、规程

《建筑抗震设防分类标准》 (GB 50223—2008)

《建筑结构荷载规范》(2006年版) (GB 50009—2001)

《建筑抗震设计规范》(2008局修) (GB 50011—2001)

《混凝土结构设计规范》 (GB 50010—2002)

《建筑地基基础规范》 (GB 50007—2002)

《混凝土结构工程施工质量验收规范》 (GB 50204—2002)

《建筑结构可靠度设计统一标准》 (GB 50068—2001)

本工程按现行国家设计标准进行设计，施工时除应遵守本说明及各设计图纸说明外，尚应严格执行国家及工程所在地区的有关规范或规程。

6. 设计计算程序

本工程采用中国建筑科学研究院《多层及高层建筑结构空间有限元分析与设计软件(SATWE)》(2008年08月网络版)进行结构整体分析，采用《基础CAD设计软件(JCCAD)》(2007年08月网络版)进行基础设计。

7. 设计采用的荷载标准值(kN/m²)

7.1 设计采用的均布活荷载标准值

项目	荷载标准值
教师休息室，普通教室，卫生间	2.5
走廊，门厅	3.5
楼梯	3.5
不上人屋面	0.5

7.2 楼梯，屋面等栏杆顶部水平活荷载 0.5

7.3 未经设计许可或技术鉴定，不得改变结构用途和使用环境。

8. 地基基础

8.1 开挖基槽时，不应扰动土的原状结构。机械挖土时应按有关规范要求进行，坑底应保留200 mm厚的土层用人工开挖。开挖基槽后，应及时组织验槽。施工中如发现实际情况与地质报告不符或不良地质情况，应及时联系设计、勘察等有关单位协商处理。

8.2 本工程基坑施工时应注意确保道路、现有管线、现有建筑物的安全和施工的顺利进行。非自然放坡开挖时，边坡支护应由有相应设计施工资质的单位承担。

9. 主要结构材料：

9.1 混凝土强度等级要求。

基础为C30，基础垫层为C15，现浇框架柱、梁、楼板及楼梯均采用C30混凝土，构造柱、过梁等非承重构件为C20。

9.2 钢筋及钢材。

(1) 钢筋采用 HPB300级(Φ)，HRB400级(Φ)。

钢筋设计强度 HRB400：$f_y=f_y'=360$ N/mm²，HPB300：$f_y=f_y'=270$ N/mm²；

纵向受力钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于1.25；钢筋的屈服强度实测值与强度标准值的比值不应大于1.3；且钢筋在最大拉力下的总伸长率实测值不应小于9%。

(2) 钢板采用Q235-B钢。

9.3 焊条：HPB300钢筋采用E43系列焊条，HRB400钢筋采用E50系列焊条，钢筋焊接依据《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18—2003)。

9.4 油漆：凡外露钢铁件必须在除锈后涂防腐漆、面漆两道，并经常注意维护。

9.5 填充墙。

(1) 砌块：±0.000以下墙体采用MU10非粘土类实心砖，以上填充墙体均为加气混凝土砌块(体积密度级别为B06，强度级别为A3.5，砌筑等级为B级)，卫生间地/楼面以上300mm高范围内用C20素混凝土。

(2) 砂浆：±0.000以内采用M7.5水泥砂浆，其他部位均为M5混合砂浆。

10. 结构构造

10.1 本工程采用国家标准图《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(03G101—1、06G101—6)的表示方法，施工图中未注明的构造要求应按照标准图的有关要求执行。

10.2 主筋的混凝土保护层厚度如下表所示，基础钢筋混凝土保护层厚度为40 mm。

环境类别	板	梁	柱	环境类别	板	梁	柱
一	15	25	30	二b	25	35	35
二a	20	30	30				

注：各部分主筋混凝土保护层厚度同时应满足不小于钢筋直径的要求。各构件中可以采用不低于相应混凝土构件强度等级的素混凝土垫块来控制主筋的保护层厚度。

10.3 结构混凝土环境类别及耐久性的基本要求：

±0.000以下结构，上部屋面女儿墙为二b类；卫生间为二a类；其他为一类。耐久性基本要求见下表：

环境类别	最大水灰比	最小水泥用量/(kg/m³)	最大氯离子含量/%	最大碱含量/(kg/m³)
一	0.65	225	1.0	不限制
二a	0.60	250	0.3	3.0
二b	0.55	275	0.2	3.0

10.4 钢筋锚固及连接：受拉钢筋的锚固长度及搭接长度均详16G101-1第53、54页。当有些部位的锚固长度不能满足$0.4l_a+15d$时，应采用机械锚固，其形式及构造要求详见16G101-1第53页。钢筋焊接应按《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18—2003)的有关规定执行。钢筋机械连接应按《钢筋机械连接通用技术规程》(JGJ 107—2003)的有关规定执行。

10.5 钢筋接头：框架柱的纵筋应采用机械连接或焊接。其构造大样详见16G101-1第58、59页。其他各类构件接头位置及连接构造详见02YG002。

10.6 楼板、屋面板的构造要求。

(1) 双向板的底部钢筋，长跨钢筋置上排，短跨钢筋置下排，跨度大于3.6 m的板施工时应按规范要求起拱。

(2) 板的底部钢筋伸入支座≥10d且至少伸至梁的中心线。

(3) 板内分布钢筋包括楼梯踏板，除注明者外均为Φ8@200。

(4) 当板与梁底平时，板底筋伸入梁内须置于梁下部纵筋之上。

(5) 梁的腰筋按锚固要求伸入混凝土框架柱内，长度满足钢筋锚固长度。

(6) 板上孔洞应预留，一般结构平面图中只表示出洞口尺寸≥300 mm的孔洞，施工时各工种必须根据各专业图纸配合土建预留全部孔洞，不得后凿。当孔洞尺寸≤300 mm时，洞边不再另加钢筋，板内外钢筋由洞边绕过，不得截断（图一）。当洞口尺寸>300 mm时，应设洞边加筋，按平面图示出的要求施工，当平面图未交代时，一般按图二要求。

(7) 混凝土现浇板内需预埋管道时，其管道应位于板厚度中部1/3范围内，以防止因埋管造成的混凝土现浇板裂缝。当板内埋管处板面没有钢筋时，应沿埋管方向增设600宽Φ6@200钢筋网片。

11. 填充墙构造要求

11.1 加气混凝土砌块墙体应在主体结构施工完成后逐层砌筑，每层砌块至板底或梁底附近时，应待砌块沉实后(一般7天)，再用斜砖塞紧砌实。

11.2 砌体填充墙其洞口过梁可按河南省省标02YG301选用矩形截面的A型，荷载级别为2级，支承长度不小于250 mm，过梁可采用预制或现浇，过梁靠近框架柱时，注意预留过梁插筋和门洞埋件。

11.3 填充墙的砌筑构造见《蒸压加气混凝土砌块建筑构造》(03J104)图集的具体要求。

12. 构造柱的设置要求及框架柱、构造柱与填充墙体的拉结要求

12.1 本工程所有楼面的内外填充墙交接处，较小的(<100mm)外墙墙垛，填充墙上较大洞口两侧(≥2100mm)均应设置钢筋混凝土构造柱，墙长大于或等于5 m时应增设构造柱；构造柱断面200×墙厚，配筋4Φ12；Φ6@100/200。构造柱的设置方案参考图三。

12.2 本工程所有填充墙与混凝土抗震墙和构造柱之间都必须采取以下拉结措施：

沿填充墙高每隔500 mm(砌墙)或二皮砌块，在墙宽范围留出2Φ6拉结钢筋拉结钢筋锚入框架柱或构造柱内30d，伸入填充墙内长度≥700 mm且≥1/5墙长或伸至洞口边，墙端应两端加弯钩，填充墙顶应用斜砖塞紧。

13. 防雷接地结构措施

对于电气专业(详见电施相关图纸)有防雷或接地要求的混凝土柱内应有两根钢筋上下焊通作为引下线，施工中应将这两根钢筋做好标记以利施工防雷引下线下端与基础内钢筋焊牢。

上端伸出对应屋面瓶板预埋面与屋面防雷网相焊。

14. 凡图中未做说明，遇下述情况时做如下处理

14.1 梁边与柱边相齐时，梁的钢筋从柱钢筋的内侧绕过。

14.2 楼梯踏步上的预埋件，请参照建施选定的相关图集要求预留，楼梯间分开施工时，应注意在相邻的梁处预留钢筋。

14.3 本工程为现浇混凝土结构，土建施工单位对各专业的留洞留槽及预埋件现场需配合各工种图纸进行核对，且与安装单位密切配合施工，正确预留图中所注明的留洞留槽及预埋件。

14.4 建筑门窗和屋面女儿墙、楼梯、栏板等的预埋件，必须配合建筑图纸和其总说明有关部分要求施工。

14.5 本工程开工前应由建设单位、施工、设计三方进行图纸会审工作，并请设计交底，对图纸上的错漏及时提出复核无误后方可施工。

14.6 结构总说明与单项设计不一致时，以单项设计规定为准。

14.7 本图纸说明未尽之外，按相关施工及验收规范、规程要求认真施工。

14.8 本图纸未详尽之构造做法均按16G101—1执行。

14.9 悬挑构件需待混凝土设计强度达到100%方可拆除底模。

14.10 当梁与柱斜交时，梁的纵向钢筋应放样下料，满足钢筋锚固长度的要求。

14.11 本套结构施工图纸中标高均为m，尺寸为mm。

图纸目录

图纸编号		图纸名称	图纸规格
新图	标、通、统、重用图		
1	结-01	结构设计总说明和图纸目录	A2
2	结-02	基础平面图和基础详图	A2
3	结-03	柱平法施工图	A2
4	结-04	楼面板模板配筋图	A2
5	结-05	楼面梁平法施工图	A2
6	结-06	屋面板模板配筋图	A2
7	结-07	屋面梁平法施工图	A2
8	结-08	楼梯结构详图	A2
	03J104	蒸压加气混凝土砌块建筑构造	
	02YG002	钢筋混凝土结构抗震构造详图	
	02YG301	钢筋混凝土过梁	

1/6

<300

图一

>300

图二

构造柱箍筋

4Φ12

楼板面标高

500

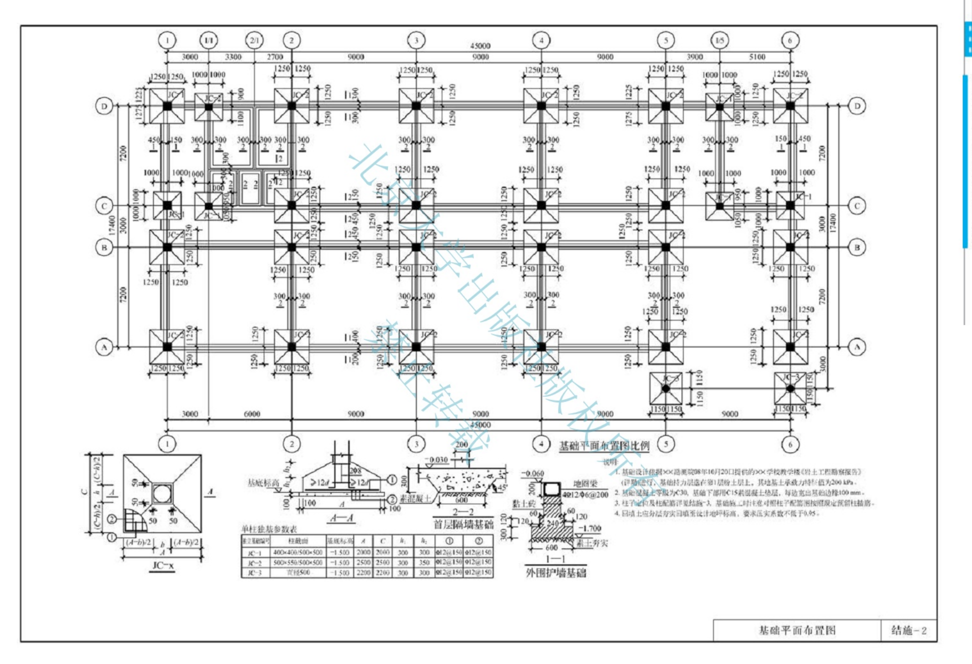
500

墙体厚

图三

构造柱锚固预埋钢筋方案

结构设计总说明及图纸目录 | 结施-1



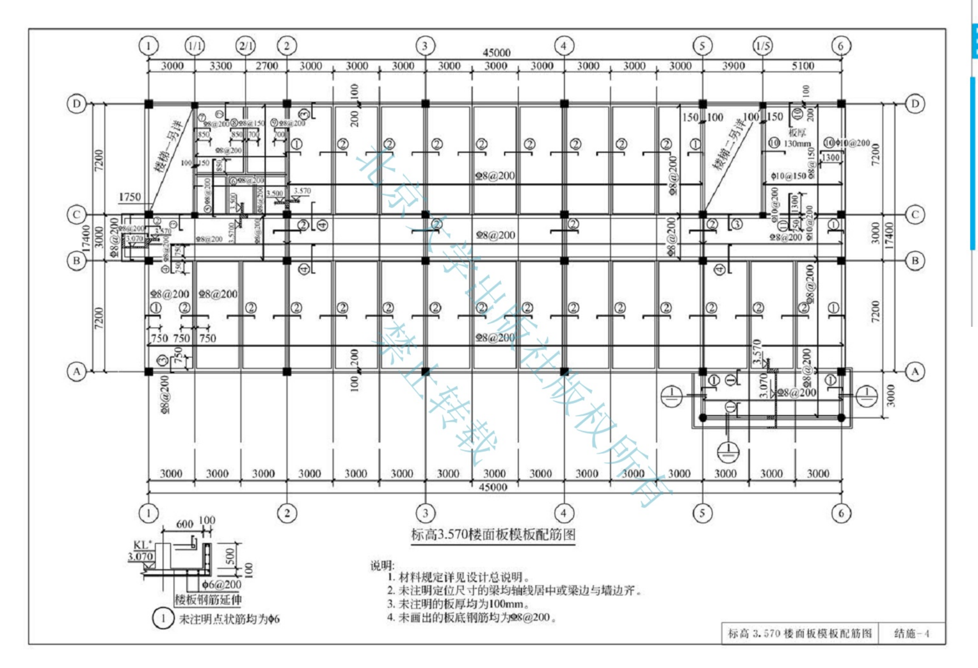
单柱独基参数表

独立基础编号	柱截面	基底标高	A	C	h_1	h_2	①	②
JC−1	400×400/500×500	−1.500	2000	2000	300	300	Φ12@150	Φ12@150
JC−2	500×550/500×500	−1.500	2500	2500	300	350	Φ12@150	Φ12@150
JC−3	直径500	−1.500	2200	2200	300	300	Φ12@150	Φ12@150

基顶~7.200柱平法施工图

柱平法施工图

结施－3


标高3.570楼面板模板配筋图
说明:
1. 材料规定详见设计总说明。
2. 未注明定位尺寸的梁均轴线居中或梁边与墙边齐。
3. 未注明的板厚均为100mm。
4. 未画出的板底钢筋均为Φ8@200。
楼板钢筋延伸
未注明点状筋均为φ6
楼梯一另详
楼梯二另详
板厚 130mm
45000
17400
7200
3000
Φ8@200
标高 3.570 楼面板模板配筋图
结施-4

标高3.570梁平法施工图

$3\phi d@50(n)$ 2ΦD $3\phi d@50(n)$ 类型Ⓐ 3Φd@50(n) ||| 3Φd@50(n) 类型Ⓑ

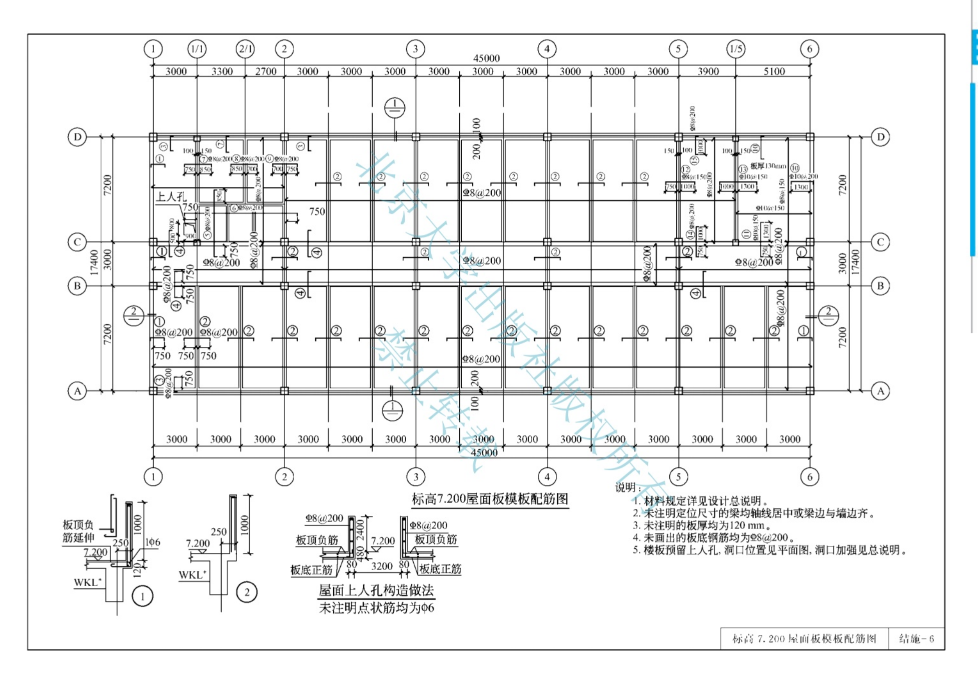
主次梁相交处主梁各类型附加横向钢筋钢筋配置示意图

注：D为附加横向钢筋所在主梁下部下排较粗纵筋直径，d为附加箍筋所在主梁箍筋直径，n为附加箍筋所在主梁箍筋肢数。

说明：

1. 材料规定见总说明。
2. 主次梁相交处须附加横向箍筋，各类型附加钢筋详见示意图。
3. 未注明定位尺寸的梁均对轴线居中或梁边与轴线、柱边齐。
4. 未注明梁顶标高均同楼板结构标高。
5. 楼梯间未标示的梁见楼梯详图。

标高 3.570 梁平法施工图	结施-5



标高7.200屋面板模板配筋图
说明：
1. 材料规定详见设计总说明。
2. 未注明定位尺寸的梁均轴线居中或梁边与墙边齐。
3. 未注明的板厚均为120 mm。
4. 未画出的板底钢筋均为Φ8@200。
5. 楼板预留上人孔，洞口位置见平面图，洞口加强见总说明。
板顶负筋延伸
WKL*
板顶负筋
板底正筋
屋面上人孔构造做法
未注明点状筋均为Φ6
上人孔
45000
17400
标高7.200屋面板模板配筋图
结施－6

标高7.200屋面梁平法施工图

3ϕd@50(n) ||| |||3ϕd@50(n)

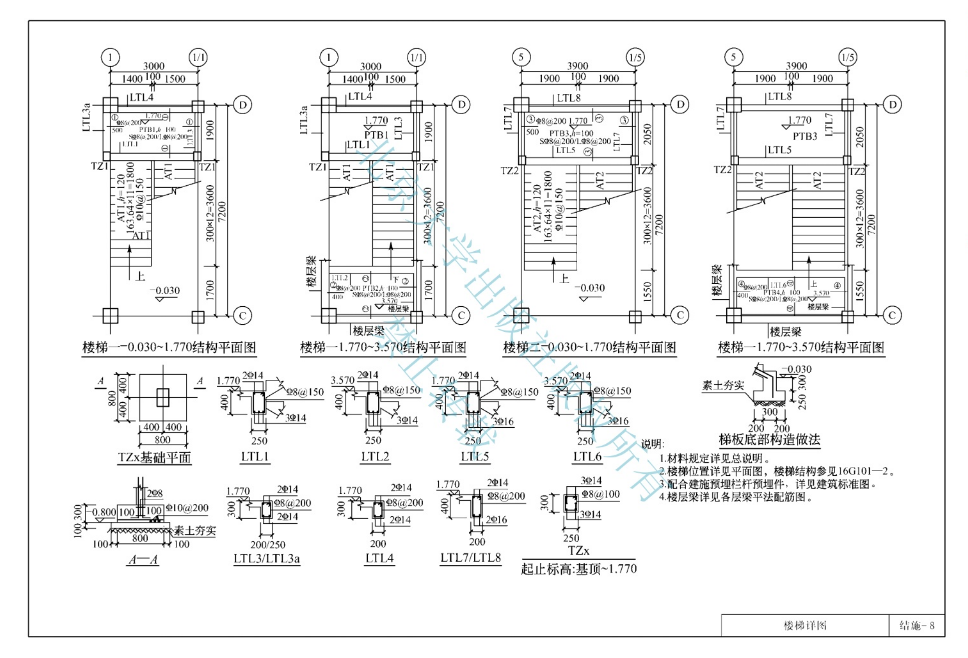
主次梁相交处主梁各类型附加横向钢筋钢筋配置示意图

注：d为附加箍筋所在主梁箍筋直径，n为附加箍筋所在主梁箍筋肢数。

说明：

1. 材料规定见总说明。
2. 主次梁相交处需附加横向箍筋、各类型附加钢筋详见示意图。
3. 未注明定位尺寸的梁均对轴线居中或梁边与轴线、柱边齐。
4. 未注明梁顶标高均同楼板结构标高。
5. 楼梯间未标示的梁见楼梯详图。

标高 7.200 屋面梁平法施工图	结施－7



楼梯一-0.030~1.770结构平面图
楼梯一1.770~3.570结构平面图
楼梯二-0.030~1.770结构平面图
楼梯一1.770~3.570结构平面图
TZx基础平面
A—A
LTL1
LTL2
LTL5
LTL6
LTL3/LTL3a
LTL4
LTL7/LTL8
TZx
起止标高:基顶~1.770
梯板底部构造做法
素土夯实
楼层梁
说明:
1.材料规定详见总说明。
2.楼梯位置详见平面图，楼梯结构参见16G101—2。
3.配合建施预埋栏杆预埋件，详见建筑标准图。
4.楼层梁详见各层梁平法配筋图。
楼梯详图
结施-8



附录 C

常用荷载表

表 C1　常用材料自重表

名　称	自重/(kN/m^3)	备　注
铸铁	72.5	
钢	78.5	
铝合金	28	
耐火砖	19～22	230mm×110mm×65mm(609 块/m^3)
灰砂砖	18	砂∶白灰＝92∶8
煤渣砖	17～18.5	
蒸压粉煤灰砖	14.0～16.0	干重度
蒸压粉煤灰加气混凝土砌块	5.5	
混凝土空心小砌块	11.8	390mm×190mm×190mm
石灰砂浆、混合砂浆	17	
水泥石灰焦渣砂浆	14	
石灰炉渣	10～12	
水泥炉渣	12～14	
石灰焦渣砂浆	13	
灰土	17.5	石灰∶土＝3∶7，夯实
纸筋石灰	16	
石灰三合土	17.5	石灰、砂子、卵石
水泥砂浆	20	
水泥蛭石砂浆	5～8	
素混凝土	22～24	振捣或不振捣
泡沫混凝土	4～6	
加气混凝土	5.5～7.5	单块
钢筋混凝土	24～25	
普通玻璃	25.6	
浆砌机砖	19	
浆砌耐火砖	22	
浆砌焦渣砖	12.5～14	
水磨石地面	0.65kN/m^2	10mm 面层，20mm 水泥砂浆打底
硬木地板	0.2kN/m^2	
木块地面	0.7kN/m^2	
钢屋架	$0.12+0.011l$ kN/m^2	无天窗，包括支撑，按屋面水平投影面积计算，跨度 l 以 m 计
钢框玻璃窗	0.4～0.45kN/m^2	

（续）

名　　称	自重/(kN/m³)	备　　注
木门	0.1～0.2kN/m²	
钢铁门	0.4～0.45kN/m²	
石棉板瓦	0.18kN/m²	仅瓦自重
波形石棉瓦	0.2kN/m²	1820mm×725mm×8mm
镀锌薄钢板	0.05kN/m²	24号
油毡防水屋(包括改性沥青防水卷材)	0.05kN/m²	一层油毡刷油两遍
	0.25～0.3kN/m²	四层做法，一毡二油上铺小石子
	0.3～0.35kN/m²	六层做法，二毡三油上铺小石子
	0.35～0.4kN/m²	八层做法，三毡四油上铺小石子

表C2　民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数

项次	类　　别	标准值/(kN/m²)	组合值系数 ψ_c	频遇值系数 ψ_f	准永久值系数 ψ_q
1	(1) 住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院病房、托儿所、幼儿园 (2) 实验室、阅览室、会议室、医院门诊室	2.0	0.7	0.5 0.6	0.4 0.5
2	教室、食堂、餐厅、一般资料档案室	2.5	0.7	0.6	0.5
3	(1) 礼堂、剧场、影院、有固定座位的看台 (2) 公共洗衣房	3.0 3.0	0.7 0.7	0.5 0.6	0.3 0.5
4	(1) 商店、展览厅、车站、港口、机场大厅及旅客等候室 (2) 无固定座位的看台	3.5 3.5	0.7 0.7	0.6 0.5	0.5 0.3
5	(1) 健身房、演出舞台 (2) 舞厅、运动场	4.0 4.0	0.7 0.7	0.6 0.6	0.5 0.3
6	(1) 书库、档案库、储藏室 (2) 密集柜书库	5.0 12.0	0.9	0.9	0.8
7	通风机房、电梯机房	7.0	0.9	0.9	0.8
8	汽车通道及客车停车库： (1) 单向板楼盖(板跨不小于2 m)和双向板楼盖(板跨不小于3m×3m) 客车 消防车 (2) 双向板楼盖(板跨不小于6m×6m)和无梁楼盖(柱网尺寸不小于6m×6m) 客车 消防车	 4.0 35.0 2.5 20.0	 0.7 0.7 0.7 0.7	 0.7 0.5 0.7 0.5	 0.6 0.0 0.6 0.0

(续)

项次	类　别	标准值/(kN/m²)	组合值系数 ψ_c	频遇值系数 ψ_f	准永久值系数 ψ_q
9	厨房： (1) 其他 (2) 餐厅	2.0 4.0	0.7 0.7	0.6 0.7	0.5 0.7
10	浴室、卫生间、盥洗室	2.5	0.7	0.6	0.5
11	走廊、门厅： (1) 宿舍、旅馆、医院病房、托儿所、幼儿园、住宅 (2) 办公楼、餐厅、医院门诊部 (3) 教学楼及其他可能出现人员密集情况	2.0 2.5 3.5	0.7 0.7 0.7	0.5 0.6 0.5	0.4 0.5 0.3
12	楼梯： (1) 多层住宅 (2) 其他	2.0 3.5	0.7 0.7	0.5 0.5	0.4 0.3
13	阳台： (1) 一般情况 (2) 当人群有可能密集时	2.5 3.5	0.7 0.7	0.6 0.6	0.5 0.5

注：(1) 本表所给各项活荷载适用于一般使用条件，当使用荷载较大或情况特殊时，应按实际情况采用。

(2) 第 6 项书库活荷载当书架高度大于 2 m 时，书库活荷载尚应按每米书架高度不小于 2.5 kN/m² 确定。

(3) 第 8 项中的客车活荷载只适用于停放载人数少于 9 人的客车；消防车活荷载是适用于满载总重为 300 kN 时的大型车辆；当不符合本表的要求时，应将车轮的局部荷载按结构效应的等效原则，换算为等效均布荷载。

(4) 第 12 项楼梯活荷载，对预制楼梯踏步平板，尚应按 1.5 kN 集中荷载验算。

(5) 本表各项荷载不包括隔墙自重和二次装修荷载。对固定隔墙的自重应按恒荷载考虑，当隔墙位置可灵活自由布置时，非固定隔墙的自重应取每延米长墙重(kN/m)的 1/3 作为楼面活荷载的附加值(kN/m²)计入，附加值不小于 1.0 kN/m²。

(6) 第 8 项消防车活荷载，当双向板跨度介于(3m×3m)～(6m×6m)时，线性内插。

表 C3　屋面均布活荷载

项次	类　别	标准值/(kN/m²)	组合值系数 ψ_c	频遇值系数 ψ_f	准永久值系数 ψ_q
1	不上人的屋面	0.5	0.7	0.5	0
2	上人的屋面	2.0	0.7	0.5	0.4
3	屋顶花园	3.0	0.7	0.6	0.5
4	屋顶运动场地	3.0	0.7	0.6	0.4

注：(1) 不上人的屋面，当施工或维修荷载较大时，应按实际情况采用；对不同结构应按有关设计规范的规定，将标准值作 0.2 kN/m² 的增减。

(2) 上人的屋面，当兼作其他用途时，应按相应楼面活荷载采用。

(3) 对于因屋面排水不畅、堵塞等引起的积水荷载，应采取构造措施加以防止；必要时，应按积水的可能深度确定屋面活荷载。

(4) 屋顶花园活荷载不包括花圃土石等材料自重。



附录 D

钢筋混凝土用表

表 D1　普通钢筋强度标准值、普通钢筋强度设计值、钢筋弹性模量

牌号	符号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 f_{yk}/(N/mm²)	极限强度标准值 f_{stk}/(N/mm²)	抗拉强度设计值 f_y/(N/mm²)	抗压强度设计值 f'_y/(N/mm²)	钢筋弹性模量 E_s/(×10⁵N/mm²)
HPB300	Φ	6～14	300	420	270	270	2.10
HRB335	Φ	6～14	335	455	300	300	2.00
HRB400	Φ	6～50	400	540	360	360	2.00
HRBF400	$Φ^{F}$						
RRB400	$Φ^{R}$						
HRB500	Φ	6～50	500	630	435	410	2.00
HRBF500	$Φ^{F}$						

注：当构件中配有不同种类的钢筋时，每种钢筋应采用各自的强度设计值。横向钢筋的抗拉强度设计值 f_{yv}应按表中 f_y 的数值采用；但用作受剪、受扭、受冲切承载力计算时，其数值大于 360N/mm²时应取 360N/mm²。对轴心受压构件，当采用 HRB500、HRBF500 钢筋时，钢筋的抗压强度设计值 f'_y应取 400N/mm²。

表 D2　预应力钢筋强度标准值、预应力钢筋强度设计值、预应力钢筋弹性模量

种类		符号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 f_{ptk}/(N/mm²)	极限强度标准值 f_{pyk}/(N/mm²)	抗拉强度设计值 f_{py}/(N/mm²)	抗压强度设计值 f'_{py}/(N/mm²)	弹性模量 E_s/(×10⁵N/mm²)
中强度预应力钢丝	光面 螺旋肋	$Φ^{PM}$ $Φ^{HM}$	5、7、9	620	800	510	410	2.05
				780	970	650		
				980	1270	810		
预应力螺纹钢筋	螺纹		18、25、32、40、50	785	980	650	410	2.00
				930	1080	770		
				1080	1230	900		
消除应力钢丝	光面 螺旋肋	$Φ^{P}$ $Φ^{H}$	5	1380	1570	1110	410	2.05
				1640	1860	1320		
			7	1380	1570	1110		
			9	1290	1470	1040		
				1380	1570	1110		
钢绞线	1×3 (三股)	$Φ^{S}$	8.6、10.8、12.9	1410	1570	1110	390	1.95
				1670	1860	1320		
				1760	1960	1390		

（续）

种类		符号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 f_{ptk}/(N/mm²)	极限强度标准值 f_{pyk}/(N/mm²)	抗拉强度设计值 f_{py}/(N/mm²)	抗压强度设计值 f'_{py}/(N/mm²)	弹性模量 E_s/(×10⁵ N/mm²)
钢绞线	1×7（七股）	Φ^S	9.5、12.7、15.2、17.8	1540	1720	1220	390	1.95
				1670	1860	1320		
				1760	1960	1390		
			21.6	1590	1770	—		
				1670	1860	1320		

注：当预应力筋的强度标准值不符合表中规定时，其强度设计值应进行相应的比例换算。

表D3　混凝土强度标准值、混凝土强度设计值和混凝土弹性模量

强度种类		轴心抗压强度/(N/mm²)		轴心抗拉强度/(N/mm²)		弹性模量/(×10⁴)
符　号		标准值 f_{ck}	设计值 f_c	标准值 f_{tk}	设计值 f_t	E_c
混凝土强度等级	C15	10.0	7.2	1.27	0.91	2.20
	C20	13.4	9.6	1.54	1.10	2.55
	C25	16.7	11.9	1.78	1.27	2.80
	C30	20.1	14.3	2.01	1.43	3.00
	C35	23.4	16.7	2.20	1.57	3.15
	C40	26.8	19.1	2.39	1.71	3.25
	C45	29.6	21.1	2.51	1.80	3.35
	C50	32.4	23.1	2.64	1.89	3.45
	C55	35.5	25.3	2.74	1.96	3.55
	C60	38.5	27.5	2.85	2.04	3.60
	C65	41.5	29.7	2.93	2.09	3.65
	C70	44.5	31.8	2.99	2.14	3.70
	C75	47.4	33.8	3.05	2.18	3.75
	C80	50.2	35.9	3.11	2.22	3.80

表D4　混凝土结构的环境类别

环境类别	条　件
一	室内干燥环境； 无侵蚀性水浸没环境
二a	室内潮湿环境； 非严寒和非寒冷地区的露天环境； 非严寒和非寒冷地区与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境； 严寒和寒冷地区冰冻线以下与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境

(续)

环境类别	条　件
二 b	干湿交替环境； 水位频繁变动环境； 严寒和寒冷地区的露天环境； 严寒和寒冷地区冰冻线以上与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
三 a	严寒和寒冷地区冬季水位变动区环境； 受冰盐影响环境； 海风环境
三 b	盐渍土环境； 受除冰盐作用环境； 海岸环境
四	海水环境
五	受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境

注：(1) 室内潮湿环境是指构件表面经常处于结露或湿润状态的环境。
(2) 严寒和寒冷地区的划分应符合国家现行标准《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—2016)的有关规定。
(3) 海岸环境和海风环境宜根据当地情况，考虑主导风向及结构所处迎风、背风部位等因素的影响，由调查研究和工程经验确定。
(4) 受除冰盐影响环境为受到除冰盐盐雾影响的环境；受除冰盐作用环境指被除冰盐溶液溅射的环境以及使用除冰盐地区的洗车房、停车楼等建筑。
(5) 暴露的环境是指混凝土结构表面所处的环境。

表 D5　结构混凝土材料的耐久性基本要求

环境类别	最大水胶比	最低强度等级	最大氯离子含量/%	最大碱含量/(kg/m³)
一	0.60	C20	0.3	不限制
二 a	0.55	C25	0.2	3.0
二 b	0.50(0.55)	C30(C25)	0.15	
三 a	0.45(0.50)	C35(C30)	0.15	
三 b	0.40	C40	0.10	

注：(1) 氯离子含量系指其占胶凝材料总量的百分比。
(2) 预应力构件混凝土中的最大氯离子含量为 0.05%；最低混凝土强度等级应按表中规定提高两个等级。
(3) 素混凝土构件的水胶比及最低强度等级的要求可适当放松。
(4) 当有可靠工程经验时，二类环境中的最低混凝土强度等级可降低一个等级。
(5) 处于严寒和寒冷地区二 b、三 a 类环境中的混凝土应使用引气剂，并可采用括号中的有关参数。
(6) 当使用非碱活性骨料时，对混凝土中的碱含量可不做限制。

表 D6　混凝土保护层的最小厚度 c(mm)

环境等级	板、墙、壳	梁、柱
一	15	20
二 a	20	25

（续）

环境等级	板、墙、壳	梁、柱
二 b	25	35
三 a	30	40
三 b	40	50

注：(1) 混凝土强度等级不大于 C25 时，表中保护层厚度数值应增加 5mm。

(2) 钢筋混凝土基础宜设置混凝土垫层，其受力钢筋的混凝土保护层厚度应从垫层顶面算起，且不应小于 40mm。

表 D7　现浇钢筋混凝土板的最小厚度(mm)

板的类别		最小厚度
单向板	屋面板	60
	民用建筑楼板	60
	工业建筑楼板	70
	行车道下的楼板	80
双向板		80
密肋楼盖	面板	50
	肋高	250
悬臂板(固定端)	悬臂长度不大于 500mm	60
	悬臂长度 1200mm	100
无梁楼盖		150
现浇空心楼板		200

注：当采取有效措施时，预制板面板的最小厚度可取 40mm。

表 D8　钢筋混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率 ρ_{min}

受力类型			最小配筋百分率/%
受压构件	全部纵向钢筋	强度级别 500N/mm^2	0.50
		强度级别 400N/mm^2	0.55
		强度级别 300N/mm^2、335N/mm^2	0.60
	一侧纵向钢筋		0.20
受弯构件、偏心受拉、轴心受拉构件一侧的受拉钢筋			0.20 和 45 $\frac{f_t}{f_y}$ 中的较大值

注：(1) 受压构件全部纵向钢筋最小配筋百分率，当采用当 C60 及以上强度等级的混凝土时，应按表中规定增加 0.10。

(2) 板类受弯构件的受拉钢筋，当采用强度级别 400N/mm^2、500N/mm^2 的钢筋时，其最小配筋百分率应允许采用 0.15 和 $45f_t/f_y$ 中的较大值。

(3) 偏心受拉构件中的受压钢筋，应按受压构件一侧纵向钢筋考虑。

(4) 受压构件的全部纵向钢筋和一侧纵向钢筋的配筋率，以及轴心受拉构件和小偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋率，应按构件的全截面面积计算。

(5) 受弯构件、大偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋率，应按全截面面积扣除受压翼缘面积 $(b_f'-b)h_f'$ 后的截面面积计算。

(6) 当钢筋沿构件截面周边布置时，“一侧纵向钢筋”系指沿受力方向两个对边中一边布置的纵向钢筋。

表 D9　钢筋的公称直径、公称截面面积及理论质量表

公称直径 d/mm	不同根数钢筋的计算截面面积/mm²									单根钢筋理论质量/(kg/m)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	28.3	57	85	113	142	170	198	226	255	0.222
6.5	33.2	66	100	133	166	199	232	265	299	0.260
8	50.3	101	151	201	252	302	352	402	453	0.395
8.2	52.8	106	158	211	264	317	370	423	475	0.432
10	78.5	157	236	314	393	471	550	628	707	0.617
12	113.1	226	339	452	565	678	791	904	1017	0.888
14	153.9	308	461	615	769	923	1077	1231	1385	1.21
16	201.1	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1809	1.58
18	254.5	509	763	1017	1272	1527	1781	2036	2290	2.00(2.11)
20	314.2	628	942	1256	1570	1884	2199	2513	2827	2.47
22	380.1	760	1140	1520	1900	2281	2661	3041	3421	2.98
25	490.9	982	1473	1964	2454	2945	3436	3927	4418	3.85(4.10)
28	615.8	1232	1847	2463	3079	3695	4310	4926	5542	4.83
32	804.2	1609	2413	3217	4021	4826	5630	6434	7238	6.31(6.65)
36	1017.9	2036	3054	4072	5089	6107	7125	8143	9161	7.99
40	1256.6	2513	3770	5027	6283	7540	8796	10053	11310	9.87(10.34)
50	1963.5	3928	5892	7856	9820	11784	13748	15712	17676	15.42(16.28)

注：括号内为预应力螺纹钢筋的数值。

表 D10　各种钢筋按一定间距排列时每米板宽内的钢筋截面面积表

钢筋间距/mm	当钢筋直径(mm)为下列数值时的钢筋截面面积/mm²													
	3	4	5	6	6/8	8	8/10	10	10/12	12	12/14	14	14/16	16
70	101.0	179	281	404	561	719	920	1121	1369	1616	1908	2199	2536	2872
75	94.3	167	262	377	524	671	859	1047	1277	1508	1780	2053	2367	2681
80	88.4	157	245	354	491	629	805	981	1198	1414	1669	1924	2218	2513
85	83.2	148	231	333	462	592	758	924	1127	1331	1571	1811	2088	2365
90	78.5	140	218	314	437	559	716	872	1064	1257	1484	1710	1972	2234
95	74.5	132	207	298	414	529	678	826	1008	1190	1405	1620	1868	2116
100	70.6	126	196	283	393	503	644	785	958	1131	1335	1539	1775	2011
110	64.2	114.0	178	257	357	457	585	714	871	1028	1214	1399	1614	1828
120	58.9	105.0	163	236	327	419	537	654	798	942	1112	1283	1480	1676
125	56.5	100.6	157	226	314	402	515	628	766	905	1068	1232	1420	1608
130	54.4	96.6	151	218	302	387	495	604	737	870	1027	1184	1366	1547
140	50.5	89.7	140	202	281	359	460	561	684	808	954	1100	1268	1436
150	47.1	83.8	131	189	262	335	429	523	639	754	890	1026	1183	1340
160	44.1	78.5	123	177	246	314	403	491	599	707	834	962	1110	1257
170	41.5	73.9	115	166	231	296	379	462	564	665	786	906	1044	1183
180	39.2	69.8	109	157	218	279	358	436	532	628	742	855	985	1117
190	37.2	66.1	103	149	207	265	339	413	504	595	702	810	934	1058
200	35.3	62.8	98.2	141	196	251	322	393	479	565	668	770	888	1005
220	32.1	57.1	89.3	129	178	228	292	357	436	514	607	700	807	914
240	29.4	52.4	81.9	118	164	209	268	327	399	471	556	641	740	838

（续）

钢筋间距/mm	当钢筋直径(mm)为下列数值时的钢筋截面面积/mm²													
	3	4	5	6	6/8	8	8/10	10	10/12	12	12/14	14	14/16	16
250	28.3	50.2	78.5	113	157	201	258	314	383	452	534	616	710	804
260	27.2	48.3	75.5	109	151	193	248	302	368	435	514	592	682	773
280	25.2	44.9	70.1	101	140	180	230	281	342	404	477	550	634	718
300	23.6	41.9	65.5	94	131	168	215	262	320	377	445	513	592	670
320	22.1	39.2	61.4	88	123	157	201	245	299	353	417	481	554	628

表 D11 相对混凝土受压区高度与截面抵抗矩系数界限值(ξ_b 和 $\alpha_{s,max}$)

混凝土强度等级		≤C50	C60	C70	C80
HPB300 钢筋	ξ_b	0.576	0.556	0.537	0.518
	$\alpha_{s,max}$	0.410	0.402	0.393	0.384
HRB335 钢筋 HRBF335 钢筋	ξ_b	0.550	0.531	0.512	0.493
	$\alpha_{s,max}$	0.399	0.390	0.381	0.372
HRB400 钢筋 HRBF400 钢筋 RRB400 钢筋	ξ_b	0.518	0.499	0.481	0.463
	$\alpha_{s,max}$	0.384	0.375	0.365	0.356
HRB500 钢筋 HRBF500 钢筋	ξ_b	0.482	0.464	0.447	0.429
	$\alpha_{s,max}$	0.366	0.357	0.347	0.337

表 D12 矩形和 T 形截面受弯构件正截面强度计算表

ξ	γ_s	α_s	ξ	γ_s	α_s
0.01	0.995	0.010	0.31	0.845	0.262
0.02	0.990	0.020	0.32	0.840	0.269
0.03	0.985	0.030	0.33	0.835	0.276
0.04	0.980	0.039	0.34	0.830	0.282
0.05	0.975	0.049	0.35	0.825	0.289
0.06	0.970	0.058	0.36	0.820	0.295
0.07	0.965	0.068	0.37	0.815	0.302
0.08	0.960	0.077	0.38	0.810	0.308
0.09	0.955	0.086	0.39	0.805	0.314
0.10	0.950	0.095	0.40	0.800	0.320
0.11	0.945	0.104	0.41	0.795	0.326
0.12	0.940	0.113	0.42	0.790	0.332
0.13	0.935	0.122	0.43	0.785	0.338

(续)

ξ	γ_s	α_s	ξ	γ_s	α_s
0.14	0.930	0.130	0.44	0.780	0.343
0.15	0.925	0.139	0.45	0.775	0.349
0.16	0.920	0.147	0.46	0.770	0.354
0.17	0.915	0.156	0.47	0.765	0.360
0.18	0.910	0.164	0.48	0.760	0.365
0.19	0.905	0.172	0.49	0.755	0.370
0.20	0.900	0.180	0.50	0.750	0.375
0.21	0.895	0.188	0.51	0.745	0.380
0.22	0.890	0.196	0.52	0.740	0.385
0.23	0.885	0.204	0.53	0.735	0.390
0.24	0.880	0.211	0.54	0.730	0.394
0.25	0.875	0.219	0.55	0.725	0.399
0.26	0.870	0.226	0.56	0.720	0.403
0.27	0.865	0.234	0.57	0.715	0.408
0.28	0.860	0.241	0.58	0.710	0.412
0.29	0.855	0.248	0.59	0.705	0.416
0.30	0.850	0.255	0.60	0.700	0.420

注：$M=\alpha_s \alpha f_c b h_0^2$；$\xi=x/h_0=f_y A_s/\alpha f_c b h_0$；$A_s=M/\gamma_s h_0 f_y$ 或 $A_s=\xi b h_0 f_c/f_y$。

表 D13　受弯构件挠度限值

构件类型		挠度限值
吊车梁	手动吊车	$l_0/500$
	电动吊车	$l_0/600$
屋盖、楼盖及楼梯构件	当 $l_0<7$m 时	$l_0/200(l_0/250)$
	当 $7\text{m}\leqslant l_0\leqslant 9$m 时	$l_0/250(l_0/300)$
	当 $l_0>9$m 时	$l_0/300(l_0/400)$

注：(1) 表中 l_0 为构件的计算跨度；计算悬臂构件的挠度限值时，其计算跨度 l_0 按实际悬臂长度的2倍取用。

(2) 表中括号内数值适用于使用上对挠度有较高要求的构件。

(3) 如果构件制作时预先起拱，且使用上也允许，则在验算挠度时，可将计算所得的挠度值减去起拱值；对预应力混凝土构件，尚可减去预加力所产生的反拱值。

(4) 构件制作时的起拱值和预加力所产生的反拱值，不宜超过构件在相应荷载组合作用下的计算挠度值。

表 D14　结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值(mm)

环境类别	钢筋混凝土结构		预应力混凝土结构	
	裂缝控制等级	ω_{lim}	裂缝控制等级	ω_{lim}
一	三级	0.30(0.40)	三级	0.20
二 a		0.20		0.10
二 a			二级	—
三 a、三 b			一级	—

注：(1) 对处于年平均相对湿度小于 60%的地区一类环境下的受弯构件，其最大裂缝宽度限值可采用括号内的数值。

(2) 在一类环境下，对钢筋混凝土屋架、托架及需做疲劳验算的吊车梁，其最大裂缝宽度限值应取为 0.20mm；对钢筋混凝土屋面梁和托架，其最大裂缝宽度限值应取为 0.30mm。

(3) 在一类环境下，对预应力混凝土屋架、托架及双向板体系，应按二级裂缝控制等级进行验算。对一类环境下的预应力混凝土屋面梁、托梁、单向板，按表中二 a 级环境的要求进行验算；在一类和二类环境下的需做疲劳验算的预应力混凝土吊车梁，应按一级裂缝等级进行验算。

(4) 表中规定的预应力混凝土构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值仅适用于正截面验算；预应力混凝土构件的斜截面裂缝控制验算应符合本书模块 7 的要求。

(5) 对于烟囱、筒仓和处于液体压力下的结构构件，其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定。

(6) 对于处于四、五类环境下的结构构件，其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定。

(7) 表中的最大裂缝宽度限值为用于验算荷载作用引起的最大裂缝宽。

表 D15　受拉钢筋基本锚固长度 l_{ab}

钢筋种类	混凝土强度等级								
	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	≥C60
HPB300	39d	34d	30d	28d	25d	24d	23d	22d	21d
HRB335、HRBF335	38d	33d	29d	27d	25d	23d	22d	21d	21d
HRB400、HRBF400、HRB400	—	40d	35d	32d	29d	28d	27d	26d	25d
HRB500、HRBF500	—	48d	43d	39d	36d	34d	32d	31d	30d

表 D16　抗震设计时受拉钢筋基本锚固长度 l_{abE}

钢筋种类		混凝土强度等级								
		C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	≥C60
HPB300	一、二级	45d	39d	35d	32d	29d	28d	26d	25d	24d
	三级	41d	36d	32d	29d	26d	25d	24d	23d	22d
HRB335、HRBF335	一、二级	44d	38d	33d	31d	29d	26d	25d	24d	24d
	三级	40d	35d	31d	28d	26d	24d	23d	22d	22d
HRB400、HRBF400	一、二级	—	46d	40d	37d	33d	32d	31d	30d	29d
	三级	—	42d	37d	34d	30d	29d	28d	27d	26d
HRB500、HRBF500	一、二级	—	55d	49d	45d	41d	39d	37d	36d	35d
	三级	—	50d	45d	41d	38d	36d	34d	33d	32d

注：(1) 四级抗震时，$l_{abE}=l_{ab}$。

(2) 当锚固钢筋的保护层厚度不大于 5d 时，锚固钢筋长度范围内应设置横向构造钢筋，其直径不应小于 $d/4$（d 为锚固钢筋的最大直径）；对梁、柱等构件间距不应大于 5d，对板、墙等构件间距不应大于 10d，且均不应大于 100（d 为锚固钢筋的最小直径）。

表 D17　受拉钢筋锚固长度 l_a

钢筋种类	混凝土强度等级																
	C20	C25		C30		C35		C40		C45		C50		C55		≥C60	
	$d\le25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$
HPB300	39*d*	34*d*	—	30*d*	—	28*d*	—	25*d*	—	24*d*	—	23*d*	—	22*d*	—	21*d*	—
HRB335、HRBF335	38*d*	33*d*	—	29*d*	—	27*d*	—	25*d*	—	23*d*	—	22*d*	—	21*d*	—	21*d*	—
HRB400、HRBF400、HRB400	—	40*d*	44*d*	35*d*	39*d*	32*d*	35*d*	29*d*	32*d*	28*d*	31*d*	27*d*	30*d*	26*d*	29*d*	25*d*	28*d*
HRB500、HRBF500	—	48*d*	53*d*	43*d*	47*d*	39*d*	43*d*	36*d*	40*d*	34*d*	37*d*	32*d*	35*d*	31*d*	34*d*	30*d*	33*d*

表 D18　受拉钢筋抗震锚固长度 l_{aE}

钢筋种类及抗震等级		混凝土强度等级																
		C20	C25		C30		C35		C40		C45		C50		C55		≥C60	
		$d\le25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$
HPB300	一、二级	45*d*	39*d*	—	35*d*	—	32*d*	—	29*d*	—	28*d*	—	26*d*	—	25*d*	—	24*d*	—
	三级	41*d*	36*d*	—	32*d*	—	29*d*	—	26*d*	—	25*d*	—	24*d*	—	23*d*	—	22*d*	—
HRB335、HRBE335	一、二级	44*d*	38*d*	—	33*d*	—	31*d*	—	29*d*	—	26*d*	—	25*d*	—	24*d*	—	24*d*	—
	三级	40*d*	35*d*	—	30*d*	—	28*d*	—	26*d*	—	24*d*	—	23*d*	—	22*d*	—	22*d*	—
HRB400、HRBF400	一、二级	—	46*d*	51*d*	40*d*	45*d*	37*d*	40*d*	33*d*	37*d*	32*d*	36*d*	31*d*	35*d*	30*d*	33*d*	29*d*	32*d*
	三级	—	42*d*	46*d*	37*d*	41*d*	34*d*	37*d*	30*d*	34*d*	29*d*	33*d*	28*d*	32*d*	27*d*	30*d*	26*d*	29*d*
HRB500、HRBF500	一、二级	—	55*d*	61*d*	49*d*	54*d*	45*d*	49*d*	41*d*	46*d*	39*d*	43*d*	37*d*	40*d*	36*d*	39*d*	35*d*	38*d*
	三级	—	50*d*	56*d*	45*d*	49*d*	41*d*	45*d*	38*d*	42*d*	36*d*	39*d*	34*d*	37*d*	33*d*	36*d*	32*d*	35*d*

注：(1) 当为环氧树脂涂层带肋钢筋时，表中数据尚应乘以 1.25。
(2) 当纵向受拉钢筋施工过程中易受扰动时，表中数据尚应乘以 1.1。
(3) 当锚固长度范围内纵向受力钢筋周边保护层厚度为 3*d*、5*d*（*d* 为锚固钢筋的直径）时，表中数据可分别乘以 0.8、0.7；中间时按内插值。
(4) 当纵向受拉普通钢筋锚固长度修正系数 [注(1)～注(3)]多于一项时，可按连乘计算。
(5) 受拉钢筋的锚固长度 l_a、l_{aE}的计算值不应小于 200mm。
(6) 四级抗震时，$l_{aE}=l_a$。
(7) 当锚固钢筋的保护层厚度不大于 5*d* 时，锚固钢筋长度范围内应设置横向构造钢筋，其直径不应小于 *d*/4（*d* 为锚固钢筋的最大直径）；对梁、柱等构件间距不应大于 5*d*，对板、墙等构件间距不应大于 10*d*，且均不应大于 100mm（*d* 为锚固钢筋的最小直径）。

表 D19 纵向受拉钢筋搭接长度 l_l

钢筋种类及同一区段内搭接钢筋面积百分率		混凝土强度等级																
		C20	C25		C30		C35		C40		C45		C50		C55		≥C60	
		$d\leq25$	$d\leq25$	$d>25$	$d\leq25$	$d>25$	$d\leq25$	$d>25$	$d\leq25$	$d>25$	$d\leq25$	$d>25$	$d\leq25$	$d>25$	$d\leq25$	$d>25$	$d\leq25$	$d>25$
HPB300	≤25%	47d	41d	—	36d	—	34d	—	30d	—	29d	—	28d	—	26d	—	25d	—
	50%	55d	48d	—	42d	—	39d	—	35d	—	34d	—	32d	—	31d	—	29d	—
	100%	62d	54d	—	48d	—	45d	—	40d	—	38d	—	37d	—	35d	—	34d	—
HRB335 HRBF335	≤25%	45d	40d	—	35d	—	32d	—	30d	—	28d	—	26d	—	25d	—	25d	—
	50%	53d	46d	—	41d	—	38d	—	35d	—	32d	—	31d	—	29d	—	29d	—
	100%	61d	53d	—	46d	—	43d	—	40d	—	37d	—	35d	—	34d	—	34d	—
HRB400 HRBF400 RRB400	≤25%	—	48d	53d	42d	47d	38d	42d	35d	38d	34d	37d	32d	36d	31d	35d	30d	34d
	50%	—	56d	62d	49d	55d	45d	49d	41d	45d	39d	43d	38d	42d	36d	41d	35d	39d
	100%	—	64d	70d	56d	62d	51d	56d	46d	51d	45d	50d	43d	48d	42d	46d	40d	45d
HRB500 HRBF500	≤25%	—	58d	64d	52d	56d	47d	52d	43d	48d	41d	44d	38d	42d	37d	41d	36d	40d
	50%	—	67d	74d	60d	66d	55d	60d	50d	56d	48d	52d	45d	49d	43d	48d	42d	46d
	100%	—	77d	85d	69d	75d	62d	69d	58d	64d	54d	59d	51d	56d	50d	54d	48d	53d

注：(1) 表中数值为纵向受拉钢筋绑扎搭接接头的搭接长度。

(2) 两根不同直径钢筋搭接时，表中 d 取较细钢筋的直径。

(3) 当为环氧树脂涂层带肋钢筋时，表中数据尚应乘以 1.25。

(4) 当纵向受拉钢筋在施工过程中易受扰动时，表中数据尚应乘以 1.1。

(5) 当搭接长度范围内纵向受力钢筋周边保护层厚度为 $3d$、$5d$（d 为搭接钢筋的直径）时，表中数据尚可分别乘以 0.8、0.7；中间时按内插值。

(6) 当上述修正系数［注(1)～注(5)］多于一项时，可按连乘计算。

(7) 任何情况下，搭接长度不应小于 300mm。

表 D20　纵向受拉钢筋抗震搭接长度 l_{lE}

钢筋种类及同一区段内搭接钢筋面积百分率			混凝土强度等级																
			C20	C25		C30		C35		C40		C45		C50		C55		≥C60	
			$d\le25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$	$d\le25$	$d>25$
一、二级抗震等级	HPB300	≤25%	54d	47d	—	42d	—	38d	—	35d	—	34d	—	31d	—	30d	—	29d	—
		50%	63d	55d	—	49d	—	45d	—	41d	—	39d	—	36d	—	35d	—	34d	—
	HRB335 HRBF335	≤25%	53d	46d	—	40d	—	37d	—	35d	—	31d	—	30d	—	29d	—	29d	—
		50%	62d	53d	—	46d	—	43d	—	41d	—	36d	—	35d	—	34d	—	34d	—
	HRB400 HRBF400	≤25%	—	55d	61d	48d	54d	44d	48d	40d	44d	38d	43d	37d	42d	36d	40d	35d	38d
		50%	—	64d	71d	56d	63d	52d	56d	46d	52d	45d	50d	43d	49d	42d	46d	41d	45d
	HRB500 HRBF500	≤25%	—	66d	73d	59d	65d	54d	59d	49d	55d	47d	52d	44d	48d	43d	47d	42d	46d
		50%	—	77d	85d	69d	76d	63d	69d	57d	64d	55d	60d	52d	56d	50d	55d	49d	53d
三级抗震等级	HPB300	≤25%	49d	43d	—	38d	—	35d	—	31d	—	30d	—	29d	—	28d	—	26d	—
		50%	57d	50d	—	45d	—	41d	—	36d	—	35d	—	34d	—	32d	—	31d	—
	HRB335 HRBF335	≤25%	48d	42d	—	36d	—	34d	—	31d	—	29d	—	28d	—	26d	—	26d	—
		50%	56d	49d	—	42d	—	39d	—	36d	—	34d	—	32d	—	31d	—	31d	—
	HRB400 HRBF400	≤25%	—	50d	55d	44d	49d	41d	44d	36d	41d	35d	40d	34d	38d	32d	36d	31d	35d
		50%	—	59d	64d	52d	57d	48d	52d	42d	48d	41d	46d	39d	45d	38d	42d	36d	41d
	HRB500 HRBF500	≤25%	—	60d	67d	54d	59d	49d	54d	46d	50d	43d	47d	41d	44d	40d	43d	38d	42d
		50%	—	70d	78d	63d	69d	57d	63d	53d	59d	50d	55d	48d	52d	46d	50d	45d	49d

注：(1) 表中数值为纵向受拉钢筋绑扎搭接接头的搭接长度。
(2) 两根不同直径钢筋搭接时，表中 d 取较细钢筋直径。
(3) 当为环氧树脂涂层带肋钢筋时，表中数据尚应乘以 1.25。
(4) 当纵向受拉钢筋在施工过程中易受扰动时，表中数据尚应乘以 1.1。
(5) 当搭接长度范围内纵向受力钢筋周边保护层厚度为 $3d$、$5d$（d 为搭接钢筋的直径）时，表中数据尚可分别乘以 0.8、0.7；中间时按内插值。
(6) 当上述修正系数［注(3)～注(5)］多于一项时，可按连乘计算。
(7) 任何情况下，搭接长度不应小于 300mm。
(8) 四级抗震等级时，$l_{lE}=l_l$，详见 16G101—1 图集第 60 页。

参 考 文 献

[1] 丁梧秀．地基与基础[M]. 郑州：郑州大学出版社，2006.
[2] 周绥平．钢结构[M]. 武汉：武汉理工大学出版社，2003.
[3] 杜绍堂．钢结构施工[M]. 北京：高等教育出版社，2005.
[4] 罗向荣．钢筋混凝土结构[M]. 北京：高等教育出版社，2004.
[5] 侯治国，周绥平．混凝土结构[M]. 武汉：武汉理工大学出版社，2002.
[6] 王振武，张伟．混凝土结构[M]. 北京：科学技术出版社，2005.
[7] 叶列平．混凝土结构[M]. 北京：清华大学出版社，2005.
[8] 蓝宗建．混凝土结构设计原理[M]. 南京：东南大学出版社，2002.
[9] 罗福午，方鄂华，叶知满．混凝土结构与砌体结构[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2003.
[10] 王祖华．混凝土与砌体结构[M]. 广州：华南理工大学出版社，2005.
[11] 侯治国，周绥平．建筑结构[M]. 武汉：武汉理工大学出版社，2003.
[12] 邵秀英．建筑结构[M]. 北京：机械工业出版社，2009.
[13] 吴承霞．建筑结构与识图[M]. 北京：高等教育出版社，2012.
[14] 熊丹安．建筑结构[M]. 广州：华南理工大学出版社，2006.
[15] 杨鼎久．建筑结构[M]. 北京：机械工业出版社，2008.
[16] 张学宏．建筑结构[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2004.
[17] 杨太生．建筑结构基础与识图[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2008.
[18] 张小云．建筑抗震[M]. 北京：高等教育出版社，2008.
[19] 刘丽华，王晓天．建筑力学[M]. 北京：中国电力出版社，2004.
[20] 石立安．建筑力学[M]. 武汉：华中科技大学出版社，2006.
[21] 胡兴福．建筑力学与结构[M]. 武汉：武汉理工大学出版社，2007.
[22] 李春亭，张庆霞．建筑力学与结构[M]. 北京：人民交通出版社，2007.
[23] 周道君，田海风．建筑力学与结构[M]. 北京：中国电力出版社，2005.
[24] 岑欣华．建筑力学与结构基础[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2004.
[25] 陈安生．建筑力学与结构基础[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2003.
[26] 张小平．建筑识图与房屋构造[M]. 武汉：武汉工业大学出版社，2008.
[27] 白丽红．建筑制图与识图[M]. 北京：北京大学出版社，2009.
[28] 陆叔华．建筑制图与识图[M]. 北京：高等教育出版社，2007.
[29] 李思丽．建筑制图与阴影透视[M]. 北京：机械工业出版社，2007.
[30] 唐岱新．砌体结构[M]. 北京：高等教育出版社，2010.
[31] 林贤根．土木工程力学(少学时)[M]. 北京：机械工业出版社，2006.
[32] 江见鲸，等．建筑工程事故分析与处理[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2006.
[33] 吴承霞．混凝土与砌体结构[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.
[34] 刘立新．混凝土结构原理[M]. 武汉：武汉理工大学出版社，2011.
[35] 胡兴福．建筑结构[M]. 2 版．北京：中国建筑工业出版社，2012.
[36] 刘立新．砌体结构[M]. 3 版．武汉：武汉理工大学出版社，2011.
[37]《钢结构设计规范》(GB 50017—2003).
[38]《高层民用建筑设计防火规范(2005 年版)》(GB 50045—1995).



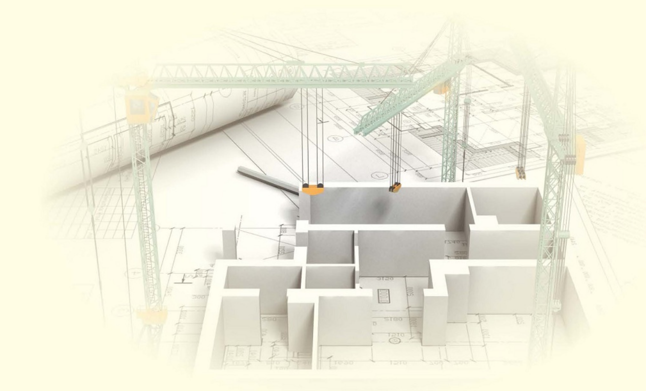
[39]《混凝土结构设计规范 (2015 年版)》(GB 50010—2010).
[40]《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(16G101).
[41]《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011).
[42]《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008).
[43]《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012).
[44]《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001).
[45]《建筑结构制图标准》(GB/T 50105—2010).
[46]《建筑抗震设计规范(2016 年版)》(GB 50011—2010).
[47]《民用建筑设计通则》(GB 50352—2005).
[48]《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011).
[49]《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001).
[50]《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010).
[51]《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008).





"十三五"职业教育规划教材

高职高专土建专业"互联网+"创新规划教材



建筑施工组织设计

徐运明　邓宗国◎主编

对接工作过程，突出实用技能的培养 ●

融入职业资格标准，实现"双证融通" ●

借助"互联网"平台，拓展学习内容 ●



扫一扫联系客服

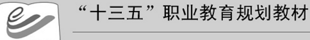


课件答案



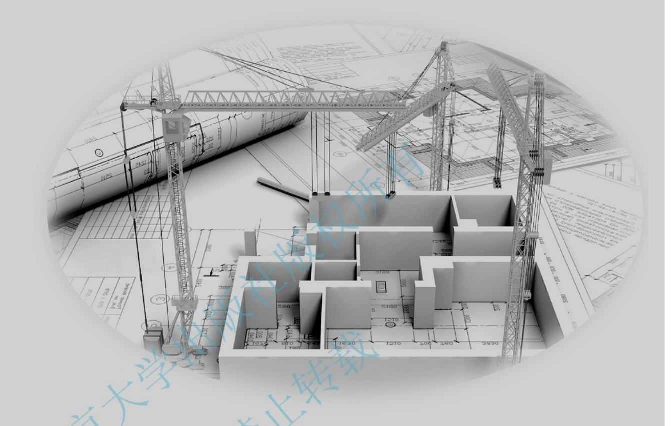
手机在线答题





"十三五"职业教育规划教材

高职高专土建专业"互联网+"创新规划教材



建筑施工组织设计

主　编◎徐运明　邓宗国

副主编◎陈梦琦　欧阳文利

参　编◎刘春燕　刘灿红

欧　亚　陈　晖

主　审◎胡六星



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书论述了建筑施工组织设计的相关内容，共分 7 个单元，内容包括建筑施工组织基本知识、施工准备工作、横道图进度计划、网络计划技术、施工进度计划控制、施工平面布置图和施工组织设计实施。每个单元设置了岗位工作标准、知识目标、典型工作任务和案例，每单元后还附有小结和习题。

本书作为高职高专土建专业“互联网+ ”创新规划教材，适用于高等职业院校、高等专科学校土建施工类和建设工程管理类专业教学使用，也可供各普通高等学校设立的成教学院、网络学院及电视大学等同类专业教学使用，还可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑施工组织设计/徐运明，邓宗国主编．—北京：北京大学出版社，2019.3
高职高专土建专业“互联网＋”创新规划教材
ISBN 978－7－301－30236－1

Ⅰ．①建…　Ⅱ．①徐…　②邓…　Ⅲ．①建筑工程—施工组织—设计—高等职业教育—教材　Ⅳ．①TU721

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 008312 号

书　　名　建筑施工组织设计
JIANZHU SHIGONG ZUZHI SHEJI
著作责任者　徐运明　邓宗国　主编
策 划 编 辑　杨星璐
责 任 编 辑　伍大维
数 字 编 辑　贾新越
标 准 书 号　ISBN 978－7－301－30236－1
出 版 发 行　北京大学出版社
地　　址　北京市海淀区成府路 205 号　100871
网　　址　http://www.pup.cn　新浪微博：@北京大学出版社
电 子 信 箱　pup_6@163.com
电　　话　邮购部 010－62752015　发行部 010－62750672　编辑部 010－62750667
印 刷 者
经 销 者　新华书店
787 毫米×1092 毫米　16 开本　19.25 印张　插页 1　450 千字
2019 年 3 月第 1 版　2019 年 3 月第 1 次印刷
定　　价　43.00 元



"建筑施工组织设计"是土建施工类专业和建设工程管理类专业的一门主干专业课，主要研究建筑工程施工组织的一般规律，课程紧密结合施工进度控制和施工现场管理，具有技术性强、实践性强和综合复杂等特点。本书以教育部等六部门印发的《现代职业教育体系建设规划（2014—2020年）》和《建筑与市政工程施工现场专业人员职业标准》（JGJ/T 250—2011）为指导，对接建筑企业施工员、造价员等职业资格标准，参照《建筑施工组织设计规范》（GB/T 50502—2014）、《工程网络计划技术规程》（JGJ/T 121—2015）等现行规范和标准编写。

本书在编写过程中融入了建筑工程技术专业技能考核标准和试题等相关内容，并以典型工作任务为表现形式，充分体现了"教、学、做"一体化的职业教育理念。全书有以下几个突出特点。

（1）对接工作过程，突出实用技能的培养。本书各单元典型工作任务紧密对接建筑岗位工作过程，便于加强教学与实际的联系，突出实用技能的培养。

（2）融入职业资格标准，实现"双证融通"。本书融入了建筑施工企业典型工作岗位如施工员、造价员的岗位工作标准，提炼、整合了教学内容，可有效实现"学历教育"与"岗位资格认证"的"双证融通"。

（3）借助"互联网+"平台，开启线上线下相结合的教学模式。本书整合了施工员、造价员及拓展岗位资格考试的典型真题、工程案例、建筑工程技术专业技能抽查试题及参考答案等相关课程资源，读者可通过手机的"扫一扫"功能，扫描书中的二维码来获取这些资源，开启线上线下相结合的教学模式。

本书由湖南城建职业技术学院徐运明、邓宗国担任主编，湖南城建职业技术学院陈梦琦、湖南建筑高级技工学校欧阳文利担任副主编，湖南城建职业技术学院刘春燕、刘灿红、欧亚和长沙环保职业技术学院陈晖参编，湖南城建职业技术学院胡六星副教授担任主审。本书具体编写分工如下：单元1由徐运明、邓宗国编写，单元2由欧阳文利编写，单元3由徐运明、邓宗国、刘春燕编写，单元4由徐运明、刘灿红编写，单元5由欧亚、徐运明、陈梦琦编写，单元6由徐运明、陈晖编写，单元7由陈梦琦编写。全书由徐运明负责统稿。湖南城



【资源索引】

建职业技术学院王勇龙、卢晨煜、李瑶、李凡、谢静思、王兴培、胡蓉、李帅、邹艳花、陈叶、葛莎参与了课程资源库的建设。

本书在编写过程中参阅了大量资料，选用了部分网络资源，吸收了许多同行专家的最新研究成果，湖南建工集团有限公司、中国建筑第二工程局有限公司、远大住宅工业集团股份有限公司、上海宝业（集团）有限公司提供了部分案例素材，在此一并向相关作者表示感谢。

课程资源库的建设和教学改革是一个系统工程，需要不断更新与完善，恳切希望广大专家、同人和读者向编者提供宝贵意见和珍贵素材（请发送至 383184793@qq.com），不胜感激。限于编者水平，书中疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编　者

2018 年 10 月

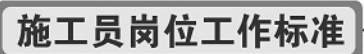




目录



建筑施工组织基本知识



施工员岗位工作标准

能够参与编制施工组织设计和专项施工方案。

造价员岗位工作标准

具备从事一般建筑工程施工项目进度管理的能力。

知识目标

1. 了解建设项目组成及建设程序。
2. 了解建筑产品及其施工的特点。
3. 掌握施工组织设计的分类、编制原则、编制依据和基本内容。
4. 掌握施工组织设计的管理流程。

典型工作任务

任务描述	施工组织设计的内容与审批
考核时量	15 分钟
背景资料	某建筑施工单位在新建办公楼工程前，按《建筑施工组织设计规范》（GB/T 50502—2209）规定的单位工程施工组织设计应包含的各项基本内容编制了本工程的施工组织设计，经相应人员审批后报监理机构，在总监理工程师审批签字后按此组织施工。
问题描述	（1）本工程的施工组织设计中应包含哪些内容？ （2）施工单位哪些人员具备审批单位工程施工组织设计的资格？

【单元1任务答案】

1.1 建设项目组成及建设程序

1.1.1 建设项目及其组成

1. 项目

项目是指在限定时间、限定费用及限定质量标准等约束条件下，具有特定的明确目标和完整的组织结构的一次性任务或管理对象。一项任务只有同时具有项目的一次性（单件性）、目标的明确性和项目的整体性这三个特征，才能称为项目。

工程项目是项目中数量最大的一类，按照专业可将其分为建筑工程、公路工程、水电工程、港口工程、铁路工程等项目。


【建设项目的基本特征】

2. 建设项目

建设项目是固定资产投资项目，是作为建设单位的被管理对象的一次性建设任务，是投资经济科学的一个基本范畴。固定资产投资项目又包括新建、扩建等扩大生产能力的基本建设项目和以改进技术、增加产品品种、提高产品质量、治理“三废”、劳动安全、节约资源等为主要目的的技术改造项目。

建设项目在一定的约束条件下，以形成固定资产为特定目标。约束条件包括：时间约束，即有建设工期目标；资源约束，即有投资总量目标；质量约束，即有预期的生产能力（如公路的通行能力）、技术水平（如使用功能的强度、平整度、抗滑能力等）或使用效益目标。

3. 施工项目

施工项目是施工企业自施工投标开始到保修期满为止的全过程中完成的项目，是作为施工企业的被管理对象的一次性施工任务。

施工项目的管理主体是施工承包企业。施工项目的范围是由工程承包合同界定的，可能是建设项目的全部施工任务，也可能是建设项目中的一个单项工程或单位工程的施工任务。

4. 建设项目的组成

按照对建设项目分解管理的需要，可将建设项目分解为单项工程、单位工程、分部工程、分项工程和检验批。

1）单项工程

一个单项工程（也称工程项目）具备独立的设计文件，可以独立施工，竣工后可以独立发挥生产能力或效益。一个建设项目可由一个或几个单项工程组成。单项工程体现了建设项目的主要内容，其施工条件往往具有相对的独立性，如工业建设项目中各个独立的生产车间、办公楼，民用建设项目中学校的教学楼、食堂、图书馆等。

2）单位工程

具备独立施工条件（具有单独设计，可以独立施工），并能形成独立使用功能的建筑

物及构筑物为一个单位工程。单位工程是单项工程的组成部分，一个单项工程一般都由若干个单位工程所组成。

一般情况下，单位工程是一个单体的建筑物或构筑物。建筑规模较大的单位工程，可将其能形成独立使用功能的部分作为一个子单位工程。

3）分部工程

组成单位工程的若干个分部称为分部工程。分部工程的划分应按专业性质、工程部位确定。如一幢房屋的建筑工程，可以划分为土建工程分部和安装工程分部，而土建工程分部又可划分为地基与基础、主体结构、建筑装饰装修和建筑屋面等子分部工程。

4）分项工程

组成分部工程的若干个施工过程称为分项工程。分项工程应按主要工种、材料、施工工艺、设备类别等进行划分。如主体混凝土结构，可以划分为模板、钢筋、混凝土、预应力、现浇结构、装配式结构等分项工程。

5）检验批


【验收层次划分】

按《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB 50300—2013）的规定，建筑工程质量验收时，可将分项工程进一步划分为检验批。检验批是指按相同的生产条件或按规定的方式汇总起来供检验用的、由一定数量样本组成的检验体。一个分项工程可由一个或若干个检验批组成，检验批可根据施工及质量控制和专业验收需要按楼层、施工段、变形缝等进行划分。

1.1.2 基本建设程序

基本建设程序是指拟建建设项目在建设过程中各个工作必须遵循的先后次序，是指建设项目从决策、设计、施工、竣工验收到投产交付使用的全过程中，各个阶段、各个步骤、各个环节的先后顺序，是拟建建设项目在整个建设过程中必须遵循的客观规律。基本建设程序的主体单位是建设单位（业主方）。

根据建设的实践经验，我国已形成了一套科学的建设程序，一般可将基本建设程序划分为决策阶段、实施阶段和使用阶段，如图 1－1 所示。

招投标工作发生的时间段
时间
决策阶段
设计前的准备阶段
设计阶段
施工阶段
动用前准备阶段
保修阶段
编制项目建议书
编制可行性研究报告
编制设计任务书
初步设计
技术设计
施工图设计
施工
竣工验收
动用开始
保修期结束
立项
决策阶段
任务：确定项目的定义
实施阶段(项目管理的时间范畴)
任务：实现项目的目标
使用阶段

图 1－1 基本建设程序


【项目建议书】

（1）决策阶段。这个阶段包括编制项目建议书和编制可行性研究报告两个步骤，以编制可行性研究报告为工作中心。这个阶段工作量最小，但是对建设项目影响最大。管理的主要任务是确定项目的定义，包括项目实施的组织，确定和落实建设地点，确定建设任务和建设原则，确定和落实项目建设的资金，确定建设项目的投资、进度和质量目标等。

（2）实施阶段。这个阶段包括设计前的准备阶段、设计阶段、施工阶段、动用前准备阶段和保修阶段，其中招标工作按照施工发承包方式的不同，可能分散在设计前的准备阶段、设计阶段和施工阶段中进行。管理的主要任务是通过管理使项目的目标得以实现。

（3）使用阶段。这个阶段是指工程项目开始发挥生产功能或者使用功能直到工程项目终止的阶段。

1.1.3 施工项目管理程序


【施工项目管理的全过程】

施工项目管理是企业运用系统的观点、理论和科学的方法对施工项目进行计划、组织、监督、控制、协调等全过程的管理。施工项目管理应体现管理的规律，企业应利用制度保证项目管理按规定程序运行，以提高建设工程施工项目的管理水平，促进施工项目管理的科学化、规范化和法制化，使其适应市场经济发展的需要，与国际惯例接轨。

施工项目管理程序是拟建工程项目在整个施工阶段中必须遵循的客观规律，是长期施工实践经验的总结，反映了整个施工阶段必须遵循的先后次序。施工项目管理程序由下列各环节组成。

（1）编制项目管理规划大纲。项目管理规划分为项目管理规划大纲和项目管理实施规划。项目管理规划大纲，是由企业管理层在投标之前编制的作为投标依据、满足招标文件要求及签订合同要求的文件。当承包人以编制施工组织设计代替项目管理规划时，施工组织设计应满足项目管理规划的要求。

项目管理规划大纲的内容包括：项目概况、项目实施条件、项目投标活动及签订施工合同的策略、项目管理目标、项目组织结构、质量目标和施工方案、工期目标和施工总进度计划、成本目标、项目风险预测和安全目标、项目现场管理和施工平面图、投标和签订施工合同、文明施工及环境保护等。

（2）编制投标书并进行投标，签订施工合同。施工单位承接任务的方式一般有三种：国家或上级主管部门直接下达；受建设单位委托而承接；通过投标而中标承接。招投标方式是最具有竞争机制、较为公平合理的承接施工任务的方式，在我国已得到广泛普及。

施工单位要从多方面掌握大量信息，编制既能使企业盈利又有竞争力、有望中标的投标书。如果中标，则与招标方进行谈判，依法签订施工合同。签订施工合同之前要认真检查签订施工合同的必要条件是否已经具备，如工程项目是否有正式的批文、是否落实投资等。

（3）选定项目经理，组建项目经理部，签订“项目管理目标责任书”。签订施工合同后，施工单位应选定项目经理，项目经理接受企业法定代表人的委托组建项目经理部、配备管理人员。企业法定代表人根据施工合同和经营管理目标要求与项目经理签订“项目管理目标责任书”，明确规定项目经理部应达到的成本、质量、进度和安全等控制目标。

项目经理应承担施工安全和质量的责任，要加强对建筑业企业项目经理市场行为的监督管理，对发生重大工程质量安全事故或市场违法违规行为的项目经理，必须依法予以严肃处理。

工程项目施工应建立以项目经理为首的生产经营管理系统，实行项目经理负责制。项目经理在工程项目施工中处于中心地位，对工程项目施工负有全面管理的责任。

在国际上，由于项目经理是施工企业内的一个工作岗位，项目经理的责任由企业领导根据企业管理的体制和机制，以及根据项目的具体情况而定。企业针对每个项目有十分明确的管理职能分工表，在该表中明确项目经理对哪些任务有策划、决策、执行、检查等职能，其承担的则是相应的策划、决策、执行、检查等的责任。

项目经理由于主观原因或工作失误，有可能承担法律责任和经济责任。政府主管部门将追究的主要是其法律责任，企业将追究的主要是其经济责任，但如果因项目经理的违法行为而导致企业损失，企业也有可能追究其法律责任。

2003年2月27日《国务院关于取消第二批行政审批项目和改变一批行政审批项目管理方式的决定》（国发〔2003〕5号）规定："取消建筑施工企业项目经理资质核准，由注册建造师代替，并设立过渡期。"在全面实施建造师执业资格制度后仍然要坚持落实项目经理岗位责任制。项目经理岗位是保证工程项目建设质量、安全、工期的重要岗位。

项目经理，是指受企业法定代表人委托，对工程项目施工过程全面负责的项目管理者，是建筑施工企业法定代表人在工程项目上的代表人。建造师是一种专业人士的名称，而项目经理是一个工作岗位的名称，应注意这两个概念的区别和联系。取得建造师执业资格的人员表示其知识和能力符合建造师执业的要求，但其在企业中的工作岗位则由企业视工作需要和安排而定，如图1-2所示。

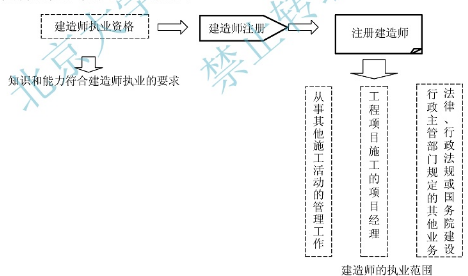


图1-2 建造师的执业范围

（4）项目经理部编制项目管理实施规划，进行项目开工前的准备。项目管理实施规划（或施工组织设计）是在工程开工之前由项目经理主持编制的，用于指导施工项目实施阶段管理活动的文件。编制项目管理实施规划的依据是项目管理规划大纲、项目管理目标责任书和施工合同。项目管理实施规划的内容，应包括工程概况、施工部署、施工方案、施工进度计划、资源供应计划、施工准备工作计划、施工平面图、技术组织措施计划、项目风险管理、信息管理和技术经济指标分析等。



项目管理实施规划应经会审后，由项目经理签字并报企业主管领导人审批。

根据项目管理实施规划，对首批施工的各单位工程应抓紧落实各项施工准备工作，使现场具备开工条件，有利于进行文明施工。具备开工条件后，应提出开工申请报告，经审查批准后，即可正式开工。

(5) 施工期间按项目管理实施规划进行管理。施工过程是一个自开工至竣工的实施过程，是施工程序中的主要阶段，在这一过程中，项目经理部应从整个施工现场的全局出发，按照项目管理实施规划（或施工组织设计）进行管理，精心组织施工，加强各单位、各部门的配合与协作，协调解决各方面问题，使施工活动顺利开展，保证质量目标、进度目标、安全目标、成本目标的实现。



【验收程序】

(6) 验收、交工与竣工结算。项目竣工验收，是在承包人按施工合同完成了项目全部任务，经检验合格后，由发包人组织验收的过程。项目经理应全面负责工程交付竣工验收前的各项准备工作，建立竣工收尾小组，编制项目竣工收尾计划并限期完成。在完成施工项目竣工收尾计划后，应向企业报告，提交有关部门进行验收。承包人在企业内部验收合格并整理好各项交工验收的技术经济资料后，向发包人发出预约竣工验收的通知书，由发包人组织设计、施工、监理等单位进行项目竣工验收。

通过竣工验收程序，办完竣工结算后，承包人应在规定期限内向发包人办理工程移交手续。

(7) 项目考核评价。施工项目完成以后，项目经理部应对其进行经济分析，做出项目管理总结报告并送企业管理层有关职能部门。



【房屋建筑质量保修期】

企业管理层组织项目考核评价委员会，对项目管理工作进行考核评价。项目考核评价的目的是规范项目管理行为、鉴定项目管理水平、确认项目管理成果，对项目管理进行全面考核和评价。项目终结性考核的内容，应包括确认阶段性考核的结果，确认项目管理的最终结果，确认该项目经理部是否具备“解体”的条件。经考核评价后，兑现“项目管理目标责任书”中的奖惩承诺，然后项目经理部解体。

【工程质量保修书】

(8) 项目回访保修。承包人在施工项目竣工验收后，对工程使用状况和质量问题向用户访问了解，并按照施工合同的约定和“工程质量保修书”的承诺，在保修期内对发生的质量问题进行修理并承担相应的经济责任。

1.2 建筑产品及其施工特点

1.2.1 建筑产品的特点

建筑产品的使用功能、平面和空间组合、结构和构造等的特殊性，以及建筑材料的品种繁多和材料物理性能的特殊性，决定了建筑产品具有以下几个特性。

1. 空间固定性


【空间固定性】

一般的建筑产品均由自然地面以下的基础和自然地面以上的主体等部分组成（地下建筑全部在自然地面以下）。基础承受主体的全部荷载并传给地基，同时将主体固定在地基上。任何建筑产品都是在选定的地点上建造和使用的，与选定地点的土地不可分割，从建造开始直至拆除均不能移动，所以建筑产品的建造和使用地点在空间上是固定的。

2. 产品多样性



【产品多样性】

建筑产品不但要满足各种使用功能的要求，而且还要体现出不同地区的风格。建筑产品受到物质文明影响，也受到地区的自然条件诸因素的限制。建筑产品在规模、结构、构造、形式、基础和装饰等方面变化纷繁，类型多样。

3. 体形庞大性


【体积庞大性】

建筑产品无论是复杂还是简单，为了满足其使用功能的需求，需要大量的物质资源，并占据广阔的平面与空间，因而建筑产品的体形庞大。

4. 构造复杂性


【构造复杂性】

建筑产品是由材料、构配件、设备、零部件等组装而成的庞大的实物体系，它不仅综合了建筑物在艺术风格、建筑功能、结构构造、装饰做法等方面的技术成就，而且综合了工艺设备、配套安装、智能服务等各类设施的先进水平，这使建筑产品数量多并且相互交叉、错综复杂。

1.2.2 建筑产品施工的特点

建筑产品地点的固定性、类型的多样性、体形庞大等特点，决定了建筑产品的施工与一般工业产品的生产相比具有自身的特殊性，具体表现为以下几点。

1. 流动性

建筑产品地点的固定性决定了参与产品生产的工人、材料、构配件等是不断流动的。一般的工业产品都是在固定的工厂、车间内进行生产，而建筑产品的生产是在不同的地区和现场、不同单位工程及不同部位来组织工人、机械围绕某一建筑产品进行生产。

2. 个别性

建筑产品类型的多样性决定了产品生产的个别性。一般的工业产品是在一定的时期里按统一的工艺流程进行批量生产，而具体的建筑产品则在国家或地区的统一规划内，根据其使用功能在选定的地点上单独设计和单独施工，即使选用标准设计、通用构件或配件，由于建筑产品所在地区的自然、技术、经济条件不同，建筑产品的结构或构造、建筑材料、施工组织和施工方法等也要因地制宜地加以修改，而使各建筑产品的生产具有个别性。

3. 地域性

建筑产品的固定性决定了具有同样使用功能的建筑产品因建造地点的不同，必然受到建设地区的自然、技术、经济和社会条件的约束，使其结构、构造、艺术形式、室内设施、材料、施工方案等有所差异，因此建筑产品的生产具有地域性。

4. 周期长

建筑产品体形庞大的特点，决定了建筑产品生产周期长，其建成必然耗费大量的人力、物力和财力。建筑产品的生产全过程还要受到工艺流程和生产程序的制约，使各专业、工种间必须按照合理的施工顺序进行配合和衔接。又由于建筑产品地点的固定性，使施工活动的空间具有局限性，导致建筑产品生产具有周期长、占用流动资金大等特点。

5. 露天作业

建筑产品体形庞大的特点，决定了建筑产品生产采用露天作业方式，因为其一般不可能在工厂、车间内直接进行施工，即使建筑产品生产达到了高度的工业化水平，也只能在工厂内生产各部分的构件或配件，仍然需要在施工现场进行总装配后才能形成最终的产品。

6. 高空作业

建筑产品体形日益庞大，决定了建筑施工具有高空作业多的特点，特别是随着城市现代化的发展，高层建筑的施工任务越来越多，这个特点越发明显。

7. 施工组织协作的综合复杂性

由上述建筑施工的特点可以看出，建筑产品生产的涉及面广。在建筑企业的内部，它涉及工程力学、建筑结构、建筑构造、地基基础、水暖电、机械设备、建筑材料施工技术等学科的专业知识，要在不同时期、不同地点和不同产品上组织多专业、多工种进行综合作业；在建筑企业的外部，它涉及不同种类的专业施工企业、城市规划、征用土地、勘察设计、消防、公用事业、环境保护、质量监督、科研试验、交通运输、银行财政、机具设备、物资材料、电水热气的供应、劳务等社会部门和各领域的复杂协作配合，使建筑产品生产的组织协作关系错综复杂。

1.2.3 建筑工业化的特点


【建筑工业化】

建筑工业化是传统的建筑业生产方式向工业化生产方式转变的过程，其基本内涵是以绿色发展为理念、以技术进步为支撑、以信息管理为手段，运用工业化的生产方式，将工程项目的设计、开发、生产、管理的全过程形成一体化的产业链。

建筑工业化不等于装配化，也不等于传统生产方式的装配化，用传统的施工管理模式进行装配化施工并不代表建筑工业化。新型建筑工业化具有以下五大特点。

（1）设计标准化。标准化设计的核心是建立标准化的单元，如图 1 - 3 所示。不同于早期标准化设计中仅采用某一方面的模数化设计或标准图集，受益于信息化尤其 BIM（建筑信息模型）技术的应用，其强大的信息共享、协同工作能力突破了原有的局限性，有利于建立标准化的单元，实现了建筑产品在建造过程中的重复使用。比如香港的公屋已经形成七个成熟的设计户型，操作起来很方便，生产效率大大提高。

（2）生产工厂化。这是建筑工业化的主要环节，对此很多人的认识都止步于建筑部品生产的工厂化，其实主体结构的工厂化才是根本。在传统施工方式中，最大的问题是主体结构精度难以保证，误差控制在厘米级，比如门窗，每层尺寸各不相同；主体结构施工采用人海战术，过度依赖一线农民工；施工现场产生大量建筑垃圾，造成的材料浪费、对环

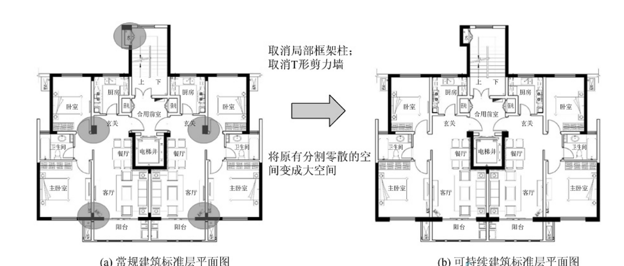


图 1－3　标准化设计的建筑标准层

境的破坏等一直被诟病；更关键的是不利于现场质量控制。这些问题均可以通过主体结构的工厂化生产得以解决，可实现毫米级的误差控制，并实现装修部品的标准化，如图 1－4 所示。真正的工业化建筑要在生产方式上实现变革，而不仅仅局限于预制率多少。



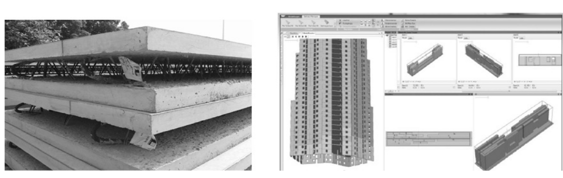


图 1－4　混凝土预制件生产（生产状态、施工状态协同管理）

（3）施工装配化。装配化施工的核心在施工技术和施工管理两个层面，特别是管理层面，工业化运行模式有别于传统形式。相对于目前层层分包的模式，建筑工业化更提倡



EPC 模式，即工程总承包模式，确切地说，这是建筑工业化初级阶段主要倡导的一种模式。作为一体化模式，EPC 实现了设计、生产、施工的一体化，使项目设计更加优化，有利于实现建造过程中的资源整合、技术集成及效益最大化，以保证生产方式的转变。通过 EPC 模式，能真正把技术固化下来，进而形成集成技术，实现全过程的资源优化和施工装配化，如图 1-5 所示。

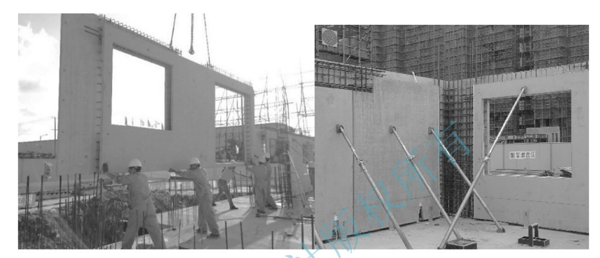


图 1-5　墙板吊装

（4）装修一体化。即从设计阶段开始，构件的生产、制作与装修施工一体化完成，也就是实现装修与主体结构的一体化，如图 1-6 所示，而不像现在毛坯房交工后再着手装修。





图 1-6　装修一体化

（5）管理信息化。即建筑全过程实现信息化。装配式节点的复杂性需要 BIM 技术支撑，设计伊始就要建立信息模型，各专业利用这一信息平台协同作业，图纸进入工厂后再次进行优化，在装配阶段也可进行施工过程的模拟，如图 1-7 所示。同时构件中装有芯片，有利于质量跟踪。BIM 技术的广泛应用会加速工程建设逐步向工业化、标准化和集约化方向发展，促使工程建设各阶段、各专业主体之间在更高层面上充分共享资源，有效地

避免各专业、行业间不协调的问题，有效解决设计与施工脱节、部品与建造技术脱节的问题，极大地提高了工程建设的精细程度、生产效率和工程质量，充分发挥了新型建筑工业化的特点。

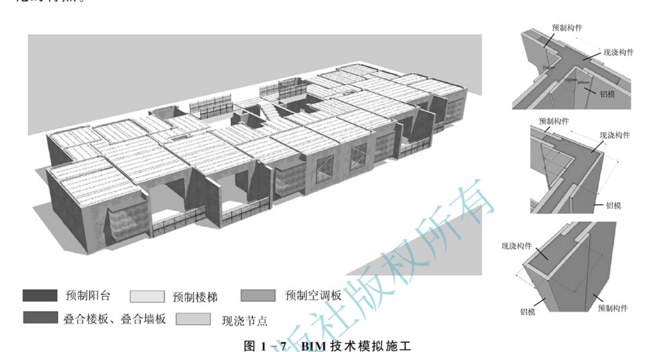


图1-7 BIM技术模拟施工

新一轮建筑工业化的发展是以建筑业为主体，而非房地产业，建筑工业化受益最大的还是建筑业，对此建筑企业应积极推进。

1.3 建筑施工组织设计概述

1.3.1 建筑施工组织设计的概念

建筑施工组织设计是以建筑施工项目为编制对象，用以指导施工的技术、经济和管理的综合性文件，是沟通工程设计和施工之间的桥梁，既要体现拟建工程的设计和使用要求，又要符合建筑施工的客观规律。

1.3.2 建筑施工组织设计的分类

建筑施工组织设计根据编制的广度、深度和作用不同，可分为以下3种类型。

(1) 施工组织总设计。

(2) 单位工程施工组织设计。

(3) 分部（分项）工程施工组织设计。

1. 施工组织总设计

施工组织总设计是以整个建设项目为对象（如一个工厂、一个机场、一个道路工程、一个居住小区等）而编制的，是对整个建设项目施工的战略部署，是指导全局性施工的技术和经济纲要。施工组织总设计的主要内容如下［参考《建筑施工组织设计规范》（GB/T 50502—2009）］。

（1）工程概况。

（2）总体施工部署。

（3）施工总进度计划。

（4）总体施工准备与主要资源配置计划。

（5）主要施工方法。

（6）施工总平面布置。

它一般是在初步设计或扩大初步设计批准后，由总承包单位负责，并邀请设计单位、施工分包单位参加编制。由于大中型建设项目施工工期往往需要几年，施工组织总设计对以后年度施工条件变化的预见很难达到十分精确的程度，所以一般需要编制年度施工组织设计，用以指导当年的施工布置和组织施工。

2. 单位工程施工组织设计

单位工程施工组织设计是以单位工程（如一栋楼房、一个烟囱、一段道路、一座桥等）为对象编制的，在施工组织总设计的指导下，由直接组织施工的单位根据施工图设计进行编制，用以直接指导单位工程的施工活动，是施工单位编制分部（分项）工程施工组织设计和季、月、旬施工计划的依据。单位工程施工组织设计根据工程规模和技术复杂程度不同，其编制内容的深度和广度也有所不同。对于简单的工程，一般只编制施工方案，并附以施工进度计划和施工平面图。

单位工程施工组织设计是一个工程的战略部署，是宏观定性的，体现指导性和原则性，是一个将建筑物的蓝图转化为实物的指导组织各种活动的总文件，是对项目施工全过程管理的综合性文件。

3. 分部（分项）工程施工组织设计

分部（分项）工程施工组织设计是针对某些特别重要的、技术复杂的，或采用新工艺、新技术施工的分部（分项）工程，如深基础、无黏结预应力混凝土、特大构件的吊装、大量土石方工程、定向爆破工程等为对象编制的，其内容具体、详细，可操作性强，是直接指导分部（分项）工程施工的依据。

1.3.3 建筑施工组织设计的内容

施工组织设计的内容要结合工程对象的实际特点、施工条件和技术水平进行综合考虑，一般包括以下基本内容。

1. 工程概况

（1）本项目的性质、规模、建设地点、结构特点、建设期限、分批交付使用的条件、合同条件。

（2）本地区的地形、地质、水文和气象情况。

（3）施工力量，即劳动力、机具、材料、构件等资源供应情况。

（4）施工环境及施工条件等。

2. 施工部署及施工方案

（1）根据工程情况，结合人力、材料、机械设备、资金、施工方法等条件，全面部署施工任务，合理安排施工顺序，确定主要工程的施工方案。

（2）对拟建工程可能采用的几个施工方案进行定性、定量的分析，通过技术经济评价，选择最佳方案。

3. 施工进度计划

（1）施工进度计划反映了最佳施工方案在时间上的安排，采用计划的形式，使工期、成本、资源等方面通过计算和调整达到优化配置，符合项目目标的要求。

（2）使工程有序地进行，使工期、成本、资源等通过优化调整达到既定目标，在此基础上编制相应的人力和时间安排计划、资源需求计划和施工准备计划。

4. 施工平面图

施工平面图是施工方案及施工进度计划在空间上的全面安排。它把投入的各种资源、材料、构件、机械、道路、水电供应网络、生产和生活活动场地及各种临时工程设施合理地布置在施工现场，使整个现场能有组织地进行文明施工。

5. 主要技术经济指标

技术经济指标用以衡量组织施工的水平，对施工组织设计文件的技术经济效益进行全面评价。

1.3.4 建筑施工组织设计的作用

施工组织设计是用以指导施工组织与管理、施工准备与实施、施工控制与协调、资源的配置与使用等全面性的技术经济文件，是对施工活动的全过程进行科学管理的重要手段。其作用具体表现在以下几方面。

（1）施工组织设计不仅是施工准备工作的重要组成部分，也是及时做好施工准备工作的主要依据和重要保证。

（2）能够按客观规律组织建筑施工活动，建立正常的施工秩序，有计划、有目标地开展各项施工过程。

（3）使参与施工的活动人员做到心中有数，主动调整施工中的薄弱环节，及时处理可能出现的问题，保证施工顺利进行。

（4）通过编制施工组织设计，可以合理地利用和安排为施工生产服务的各项临时设施，合理部署施工现场，确保文明与安全施工。

（5）施工组织设计是对施工活动实行科学管理的重要手段，是编制工程概预算的依据之一，是施工企业整个生产管理工作的重要组成部分，是编制施工生产计划和施工作业计划的主要依据。

（6）建筑施工组织设计是检查工程质量、施工进度、投资（成本）三大目标的依据，也是建设单位与施工单位之间履行合同、处理关系的主要依据。

（7）施工组织设计可以指导投标与签订工程承包合同，并可以将其作为投标书的内容和合同文件的一部分。

因此，编好建筑施工组织设计，对于按科学规律组织施工、建立正常的施工秩序、有计划地开展各项施工过程，对于及时做好各项施工准备工作，保证劳动力和各种资源的均衡供应和使用，对于协调各施工单位之间、各工种之间、各种资源之间及空间布置与时间安排之间的关系，对于保证施工顺利进行、按期按质按量完成施工任务、取得更好的施工经济效益等，都将起到重要、积极的作用。

1.3.5 建筑施工组织设计编制的基本原则

施工组织设计的编制必须遵循工程建设程序，并符合下列基本原则。

（1）符合施工合同或招标文件中有关工程进度、质量、安全、环境保护、造价等方面的要求。

（2）积极开发、使用新技术和新工艺，推广应用新材料和新设备。

（3）坚持科学的施工程序和合理的施工顺序，采用流水施工和网络计划等方法，科学配置资源、合理布置现场，采取季节性施工措施实现均衡施工，达到合理的经济技术指标。

（4）采取技术和管理措施，推广建筑节能和绿色施工。

（5）与质量、环境和职业健康安全三个管理体系有效结合。

施工组织设计是对施工活动实行科学管理的重要手段，具有战略部署和战术安排的双重作用。它体现了基本建设计划和设计的要求，提供了各阶段的施工准备工作内容，可协调施工过程中各施工单位、各施工工种、各项资源之间的相互关系。通过施工组织设计，可以根据具体工程的特定条件拟定施工方案，确定施工顺序、施工方法、技术组织措施；可以保证拟建工程按照预定的工期完成；可以在开工前了解所需资源的数量及其使用的先后顺序，合理安排施工现场布置。因此施工组织设计应从施工全局出发，充分反映客观实际，符合国家或合同要求，统筹安排施工活动的各个方面，确保文明施工、安全施工。

1.3.6 建筑施工组织设计的编制依据

施工组织设计应以下列内容作为编制依据。

（1）与工程建设有关的法律、法规和文件。

（2）国家现行的有关标准和技术经济指标。

（3）工程所在地区行政主管部门的批准文件，建设单位对施工的要求。

（4）工程施工合同或招标投标文件。

（5）工程设计文件。

（6）工程施工范围内的现场条件，工程地质及水文地质、气象等自然条件。

（7）与工程有关的资源供应情况。

（8）施工企业的生产能力、机具设备状况、技术水平等。

1.4 建筑施工组织设计的管理

1. 编制、审批和交底

（1）单位工程施工组织设计的编制与审批。单位工程施工组织设计由项目负责人主持编制，项目经理部全体管理人员参加，施工单位主管部门审核，施工单位技术负责人或其授权的技术人员审批。

（2）单位工程施工组织设计经上级承包单位技术负责人或其授权的技术人员审批后，应在工程开工前由施工单位项目负责人对项目部全体管理人员及主要分包单位进行交底，并做好交底记录。

2. 过程检查与验收

（1）单位工程的施工组织设计在实施过程中应进行检查。过程检查可按照工程施工阶段进行，通常划分为地基基础、主体结构、装饰装修等阶段。

（2）过程检查由企业技术负责人或主管部门负责人主持，企业相关部门、项目经理部相关部门参加，检查施工部署、施工方法等的落实和执行情况，如对工期、质量、效益有较大影响的应及时调整，并提出修改意见。

3. 修改与补充

单位工程施工过程中，当其施工条件、总体施工部署、重大设计变更或主要施工方法发生变化时，项目负责人或项目技术负责人应组织相关人员对单位工程施工组织设计进行修改和补充，并报送原审核人审核，原审核人审批后形成《施工组织设计修改记录表》，随后对相关人员进行交底。

4. 发放与归档

单位工程施工组织设计审批后加盖受控章，由项目资料员报送及发放并登记记录，报送监理方及建设方，发放企业主管部门、项目相关单位、主要分包单位。

工程竣工后，项目经理部按照国家、地方有关工程竣工资料编制的要求，将《单位工程施工组织设计》整理归档。

5. 动态管理

（1）项目施工过程中，发生以下情况之一时，施工组织设计应及时进行修改或补充。

① 工程设计有重大修改。当工程设计图纸发生重大修改时，如地基基础或主体结构的形式发生变化、装修材料或做法发生重大变化等，需要对施工组织设计进行修改。对工程设计图纸的一般性修改，视变化情况对施工组织设计进行补充；对工程设计图纸的细微修改或更正，施工组织设计则不需调整。

② 有关法律、法规、规范和标准的实施、修订和废止。

③ 主要施工方法有重大调整。

④ 主要施工资源配置有重大调整。

⑤ 施工环境有重大改变。

（2）经修改或补充的施工组织设计应重新审批后实施。

（3）项目施工前，应进行施工组织设计逐级交底；项目施工过程中，应对施工组织设计的执行情况进行检查、分析并适时调整。

（4）施工组织设计应在工程竣工验收后归档。

【案例】BIM 设计提升项目投标竞争力

1. 项目概况

2017 年 3 月，湖南省花垣县×××项目（表 1－1）挂网公开招标。湖南省建筑工程集团总公司 BIM 中心（以下简称“湖南建工 BIM 中心”）联合集团总公司华东工程局、湖南省建筑工程集团设计研究院参与竞标，在充分调研和论证的基础上，主导完成了设计方案。

表 1－1　工程概况

序号	项目	内　　容
1	工程名称	花垣县×××项目
2	工程地址	湖南省湘西土家族苗族自治州花垣县
3	招标单位	花垣县住房和城乡建设局
4	竞标单位	湖南省建筑工程集团总公司华东工程局
5	项目简述	规划区域位于花垣县老城区中心交通枢纽地段。由于诸多历史原因，导致该区域邻近道路规划不够合理、道理狭窄、交通拥堵、公共设施残缺。项目规模设计旨在彻底改变该区域交通现状及完善公共设施，改变县城面貌

2. 方案简介

花垣县城位于湖南省西部，是一座历史悠久的古城。花垣县是苗族的主要聚居区，当地民俗文化特点突出，居民能歌善舞，服装极具特色，配饰精致美观，特别是跳苗舞时使用的红飘带更是灵动飘逸，是苗族文化的象征，如图 1－8 所示。




图 1－8　地方特色及方案灵感

该工程方案设计以“花垣记忆”为主题，以“飞扬的苗舞红飘带”作为灵感来源，通过一条飞扬的苗舞红飘带打破城市格局，焕发城市活力。工程总平面图如图1－9所示，主要经济指标见表1－2。

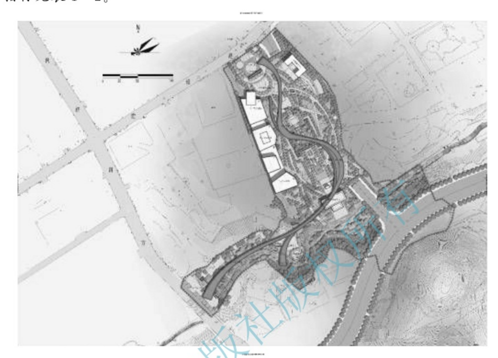


图1－9 工程总平面图

表1－2 主要经济指标

序　　号	名　　称	数　　量
1	总用地面积	58363.7m^2
2	总建筑面积	9915m^2
3	容积率	0.18
4	建筑密度	7.24%
5	绿地率	75%

方案中蜿蜒起伏的景观桥抽象地表现了苗舞红飘带，一条笔直的景观中轴线又为曲折的景观桥起到了空间限定的作用，丰富了场地形态，使主体更加突出，形成“一带一轴”的空间布局；沿中轴线设置各种主题景观广场，真正实现“一步一景，步移景异”的空间效果。项目建筑造型提取传统苗族民居的建筑特点，将典型的黑瓦坡屋顶、干阑式建筑形式、吊脚楼式底层架空等建筑造型元素加以提炼，运用现代的手法加以表现，营造出独特的商业氛围。图1－10所示为模型渲染效果。

3. BIM技术应用

湖南建工BIM中心利用BIM技术对方案设计进行检验与优化，首先依据地形图在Infrasworks中生成三维地理信息模型，依托三维场地模型快速进行市政道路规划设计，而后导入Revit中对项目建筑、红飘带、桥梁等内容进行指标化设计并生成工程量清单。其中要点如下。

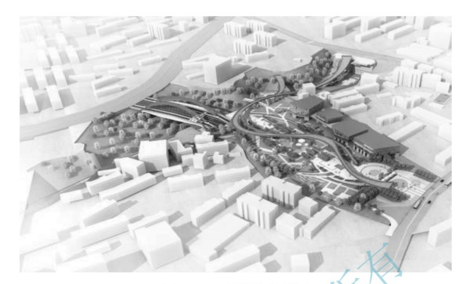


图 1-10　模型渲染效果

（1）三维场地规划。在项目现场踏勘后，湖南建工 BIM 中心直接通过 Infrasworks 开源 GIS 和映射数据调取当地三维信息模型，依托三维场地模型对城市主干道、本地道路等不同等级道路进行纵断面、机动车道、人行道、路灯、涵洞等规划设计，并设计多个备选方案，为项目落地打下基础。图 1-11 为道路纵断面三维规划。

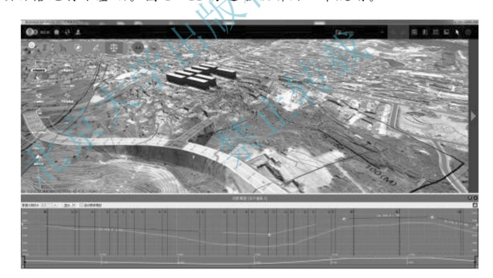


图 1-11　道路纵断面三维规划

（2）土方平衡设计。由于项目地形环境复杂，科学竖向设计是项目的关键。在 Civil 3D 中建立三维原始地形模型，基于模型快速进行天然坡度计算、设计坡度取值、设计标高计算，确定地形改造方案。依据改造地形自动提取数据快速计算土方量，进行土方平衡计算，优化确定设计标高。土方平衡设计在场地改造设计过程中起到了很重要的指导作用，避免了以往其他方式获取数据过程烦琐的现象，确保了设计的科学合理，取得了较好的经济效益。

（3）概念体量设计。红飘带为本方案的最大特点。该建筑形体是非线性的，这也促使项目团队努力寻求全新的工作方法及后续更详细的 3D 模型。在 Revit 中建立红飘带概念体量模型（图 1-12），用其参数化的特点来模拟红飘带的弯度、坡度、宽度等，并对其效

果进行验证，以保证红飘带的可实施性与美观性。同时这些数据信息具有可描述、可调控、可传递的特征，为后续设计优化调控和设计信息的准确传达奠定了基础。

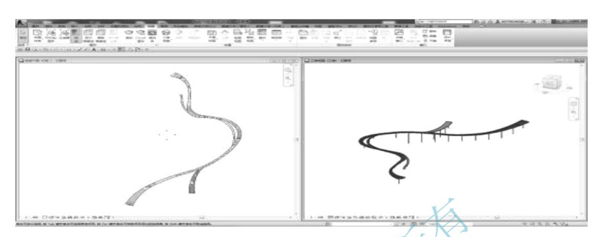


图1－12　红飘带概念体量模型

4. 总结

在方案设计的过程中，为营造一个恰当的载体，既能够充分体现当地人文特色，又满足人们对于生活便利、生态美好的需要，设计团队查阅了大量的文献资料，进行了广泛深入的调研求证，勾画了项目作为城市文化载体、新的山水公园的框架，最终在理解地域环境和社会文化的基础上，运用现代景观规划语言完成了设计，并通过BIM技术对方案进行了优化。

小　结

基本建设程序是指拟建建设项目在建设过程中各个工作必须遵循的先后次序，一般可分为决策、准备、实施三个阶段，其主体是建设单位。

建筑施工程序是指建设项目在整个施工过程中必须遵循的先后顺序，通常分为施工准备、施工、竣工验收三个阶段，其主体是施工企业。

建筑产品的使用功能、平面和空间组合、结构和构造等特性，以及建筑材料的品种繁多和材料物理性能的特殊性，决定了建筑产品的一系列特性。

建筑施工组织设计是规划和指导拟建工程项目从施工准备到竣工验收全过程的一个综合性的技术经济文件，是沟通工程设计和施工之间的桥梁。

习　题

一、思考题

1. 什么叫作建设项目？建设项目由哪些工作内容组成？
2. 按照《建筑工程施工质量验收统一标准》的规定，建筑工程质量验收有哪些层次？
3. 试述建筑产品及其施工的特点。
4. 试述建筑工业化的特点。

5. 建筑施工组织设计根据编制的广度、深度和作用不同可以分为几类？分别包括哪些内容？

6. 编制施工组织设计应遵循哪些基本原则？

二、岗位（执业）资格考试真题

（一）单项选择题

1. 下列施工现场文明施工措施中，正确的是（　　）。

A. 现场施工人员均佩戴胸卡，按工种统一编号管理

B. 市区主要路段设置围挡的高度不低于 2m

C. 项目经理任命专人为现场文明施工第一责任人

D. 建筑垃圾和生活垃圾集中一起堆放，并及时清运

2. 单位工程施工组织设计应由（　　）主持编制。

A. 项目负责人　　B. 项目技术负责人

C. 项目技术员　　D. 项目施工员

3. 根据《建设工程项目管理规范》，分部分项工程实施前，应由（　　）向有关人员进行安全技术交底。

A. 项目经理　　B. 项目技术负责人

C. 企业安全负责人　　D. 企业技术负责人

4.（　　）的划分应按专业的性质和建筑部位确定。

A. 单位工程　　B. 分部工程

C. 分项工程　　D. 检验批

5. 某住宅小区建设中，承包商针对其中一栋住宅楼施工所编制的施工组织设计，属于（　　）。

A. 施工组织设计　　B. 单位工程施工组织设计

C. 单项工程施工组织设计　　D. 分部工程施工组织设计

6. 建设活动中各项工作必须遵循的先后顺序称为（　　）。

A. 基本建设程序　　B. 建筑施工程序

C. 建筑施工顺序　　D. 建筑施工流程

（二）多项选择题

1. 施工组织设计的编制原则包括（　　）。

A. 重视工程施工的目标控制　　B. 合理部署施工现场

C. 提高施工的工业化程度　　D. 提高施工的连续性和均衡性

E. 采用国内外最先进的施工技术

2. 项目经理部建立施工安全生产管理制度体系时，应遵循的原则有（　　）。

A. 贯彻“安全第一，预防为主”的方针

B. 必须符合有关法律、法规及规程的要求

C. 建立健全安全生产责任制度和群防群治制度

D. 遵循安全生产投入最小

E. 必须适用于工程施工全过程的安全管理和控制



【单元1参考答案】

单元2 施工准备工作

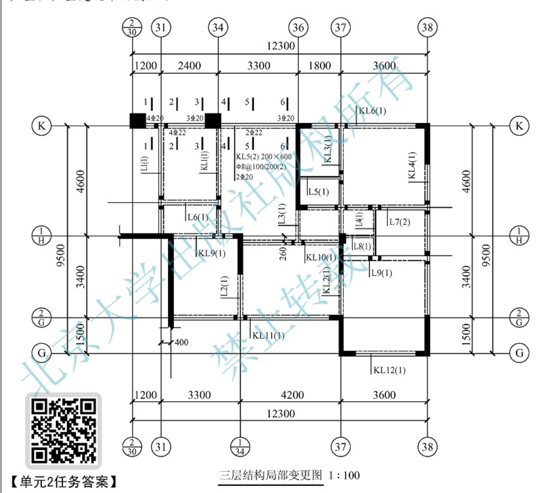
施工员岗位工作标准

1. 能够识读施工图和其他工程设计、施工等文件。
2. 能够编写技术交底文件，并实施技术交底。

知识目标

1. 了解施工准备工作的内容。
2. 掌握施工准备工作计划的编制方法。
3. 掌握施工技术交底的要求。

典型工作任务

<table>
<tr><td>任务描述</td><td>设计变更</td></tr>
<tr><td>考核时量</td><td>30 分钟</td></tr>
<tr><td>设计修改通知书</td><td>修改号：201701
应建设单位要求对本工程做出如下变更：三层 31～38 轴交 G～K 轴由设备机房变更为跃式户型，户型建筑平面图如下

【单元2任务答案】
三层结构局部变更图 1：100</td></tr>
<tr><td>要求</td><td>请根据三层结构局部变更图完成下列内容：绘制 KL5（2）中 1—1、2—2、3—3、4—4、5—5、6—6 的结构断面图（翼缘板厚均为 100mm），要求注明钢筋及编号、标注尺寸、图名，绘图比例 5：1，出图比例 1：20</td></tr>
</table>

“凡事预则立，不预则废”。施工准备工作是为了保证工程顺利开工和施工活动正常进行而必须事先做好的各项工作，它不仅存在于开工之前，而且贯穿于整个工程建设的全过程。因此，应当自始至终坚持“不打无准备之仗”的原则来做好这项工作，否则就会丧失主动权，处处被动，甚至使施工无法开展。

施工准备工作是建筑业企业生产经营管理的重要组成部分。现代企业管理理论认为，企业管理的重点是生产经营，而生产经营的核心是决策。施工准备工作作为生产经营管理

的重要组成部分，对拟建工程目标、资源供应、施工方案及其空间布置和时间排列等诸方面进行了选择和施工决策，这有利于企业做好目标管理，推行技术经济责任制。

施工准备工作是建筑施工程序的重要阶段。现代工程施工是十分复杂的生产活动，其技术规律和市场经济规律要求工程施工必须严格按照建筑施工程序进行。施工准备工作是保证整个工程施工和安装顺利进行的重要环节，可为拟建工程的施工建立必要的技术和物质条件，并统筹安排施工力量和施工现场。

施工准备工作的内容一般可以归纳为：原始资料的收集与整理、技术资料准备、资源准备、施工现场准备和季节性施工准备。

2.1 原始资料的收集与整理

对一项工程所涉及的自然条件和技术经济条件等施工资料进行调查研究与收集整理，是施工准备工作的一项重要内容，也是编制施工组织设计的重要依据。尤其是当施工单位进入一个新的城市或地区，对建设地区的技术经济条件、场地特征和社会情况等不太熟悉时，此项工作显得尤为重要。调查研究与收集资料的工作应有计划、有目的地进行，事先要拟定详细的调查提纲，其范围、内容要求等应根据拟建工程的规模、性质、复杂程序、工期及对当地的了解程度确定。调查时，除向建设单位、勘察设计单位、当地气象台站、有关部门和单位收集资料及相关规定外，还应到实地勘测，向当地居民了解情况。对调查收集到的资料应注意整理归纳、分析研究，对其中特别重要的资料，必须复查其数据的真实性和可靠性。

2.1.1 原始资料的调查



【校园规划】

1. 对建设单位与设计单位的调查

向建设单位与设计单位调查的项目见表2-1。

表2-1 向建设单位与设计单位调查的项目

序号	调查单位	调 查 内 容	调 查 目 的
1	建设单位	（1）建设项目设计任务书、有关文件； （2）建设项目性质、规模、生产能力； （3）生产工艺流程、主要工艺设备名称及来源、供应时间、分批次全部到货时间； （4）建设期限、开工时间、交工先后顺序、竣工投产时间； （5）总概算投资、年度建设计划； （6）施工准备工作的内容、安排、工作进度表	（1）施工依据； （2）项目建设部署； （3）制定主要工程施工方案； （4）规划施工总进度； （5）安排年度施工计划； （6）规划施工总平面； （7）确定占地范围

续表

序号	调查单位	调 查 内 容	调 查 目 的
2	设计单位	（1）建设项目总平面规划； （2）工程地质勘察资料； （3）水文勘察资料； （4）项目建筑规模，建筑、结构、装修概况，总建筑面积、占地面积； （5）单项（单位）工程个数； （6）设计进度安排； （7）生产工艺设计、特点； （8）地形测量图	（1）规划施工总平面图； （2）规划生产施工区、生活区； （3）安排大型临建工程； （4）概算施工总进度； （5）规划施工总进度； （6）计算平整场地土石方量； （7）确定地基、基础的施工方案

2. 对自然条件的调查

此项内容包括对建设地区的气象资料、工程地形地质、工程水文地质、周围民宅的坚固程度及其居民的健康状况等进行调查，为制定施工方案、技术组织措施、冬雨期施工措施、施工平面规划布置等提供依据，为编制现场“七通一平”计划提供依据，据以做好地上建筑物的拆除、高压输电线路的搬迁、地下构筑物的拆除和各种管线的搬迁等工作。为了减少施工公害，如打桩工程在打桩前应对居民的危房和居民中的心脏病患者采取保护性措施。自然条件调查的项目见表2－2。

表2－2　自然条件调查的项目

序号	项目	调 查 内 容	调 查 目 的
1	气象资料		
（1）	气温	①全年各月平均温度； ②最高温度、月份，最低温度、月份； ③冬季、夏季室外计算温度； ④霜、冻、冰雹期； ⑤小于－3℃、0℃、5℃的天数及其起止日期	①合理采取防暑降温措施； ②确定全年正常施工天数； ③合理采取冬期施工措施； ④估计混凝土、砂浆强度增长情况
（2）	降雨	①雨季起止时间； ②全年降水量、一日最大降水量； ③全年雷暴天数、时间； ④全年各月平均降水量	①合理采取雨期施工措施； ②合理采取现场排水、防洪措施； ③合理采取防雷措施； ④估计雨天天数
（3）	风	①主导风向及频率（风玫瑰图）； ②大于或等于8级风的全年天数、时间	①合理布置临时设施； ②确定高空作业及吊装措施

续表

序号	项目	调查内容	调查目的
2	工程地形、地质		
(1)	地形	① 区域地形图； ② 工程位置地形图； ③ 工程建设地区的城市规划； ④ 控制桩、水准点的位置； ⑤ 地形、地质的特征； ⑥ 勘察文件、资料等	① 选择施工用地； ② 合理布置施工总平面图； ③ 计算现场平整土方量； ④ 查清障碍物及数量； ⑤ 拆迁和清理施工现场
(2)	地质	① 钻孔布置图； ② 地质剖面图（各层土的特征、厚度）； ③ 土质稳定性，是否有滑坡、流砂、冲沟等； ④ 地基土强度的结论，各项物理力学指标如天然含水率、孔隙比、渗透性、压缩性指标、塑性指数、地基承载力； ⑤ 软弱土、膨胀土、湿陷性黄土分布情况，最大冻结深度； ⑥ 防空洞、枯井、土坑、古墓、洞穴，地基土破坏情况； ⑦ 地下沟渠管网、地下构筑物	① 选择土方施工方法； ② 选择地基处理方法； ③ 合理采取基础、地下结构施工措施； ④ 确定障碍物拆除计划； ⑤ 确定基坑开挖方案设计 【文物挖掘】
(3)	地震	抗震设防烈度的大小	确定对地基、结构的影响，制定施工注意事项
3	工程水文地质		
(1)	地下水	① 最高、最低水位及时间； ② 流向、流速、流量； ③ 水质分析； ④ 抽水试验、测定水量	① 选择土方施工基础施工方案； ② 合理采取降低地下水位的方法、措施； ③ 判定侵蚀性质及施工注意事项； ④ 判定使用、饮用地下水的可能性
(2)	地面水（地面河流）	① 临近的江河、湖泊及距离； ② 洪水、平水、枯水时期，其水位、流量、流速、航道深度，通航可能性； ③ 水质分析	① 确定临时给水方案； ② 确定航运组织方案； ③ 确定水工工程设计
(3)	周围环境及障碍物	① 施工区域现有建筑物、构筑物、沟渠、水流、树木、土堆、高压输变电线路等； ② 临近建筑的坚固程度及其中人员的工作、生活、健康状况	① 及时做好拆迁、拆除工作； ② 做好保护工作； ③ 合理布置施工平面； ④ 合理安排施工进度

2.1.2 相关信息与资料的收集

1. 技术经济条件的调查分析

此项内容包括地方建筑材料及构件生产企业情况，地方资源情况，地区交通运输条件，供水、供电、供气条件，三大材料、特殊材料及主要设备，建设地区社会劳动力和生活设施，参加施工的各单位能力等项调查。调查项目见表2-3～表2-9。

表2-3 地方建筑材料及构件生产企业情况调查内容格式

序号	企业名称	产品名称	规格质量	单位	生产能力	供应能力	生产方式	出厂价格	运距	运输方式	单位运价	备注

注：1.“企业名称”按照构件厂，木工厂，金属结构厂，商品混凝土厂，砂石厂，建筑设备厂，砖、瓦、石灰厂等填列。

2. 资料来源：当地计划、经济、建设主管部门。

3. 调查明细应落实到物资供应。

表2-4 地方资源情况调查内容格式

序号	材料名称	产地	储存量	质量	开采（生产）量	开采费	出厂价	运距	运费	供应的可能性

注：1.“材料名称”栏按照块石、碎石、砾石、砂、工业废料（包括冶金矿渣、炉渣、电站粉煤灰）填列。

2. 调查目的：落实地方物资准备工作。

表2-5 地区交通运输条件调查内容

序号	项目	调查内容	调查目的
1	铁路	（1）邻近铁路专用线、车站至工地的距离及沿途运输条件； （2）站场卸货路线长度、起重能力和储存能力； （3）装载单个货物的最大尺寸、质量的限制； （4）运费、装卸费和装卸力量	（1）选择施工运输方式； （2）拟订施工运输计划
2	公路	（1）主要材料产地至工地的公路等级，路面构造宽度及完好情况，允许最大载重量； （2）途经桥涵等级，允许最大载重量； （3）当地专业机构及附近村镇能提供的装卸、运输能力，汽车、畜力、人力车的数量及运输效率，运费、装卸费； （4）当地有无汽车修配厂、修配能力，以及至工地的距离、路况； （5）沿途架空电线高度	

续表

序号	项目	调查内容	调查目的
3	航运	（1）货源、工地至邻近河流、码头渡口的距离及道路情况； （2）洪水期、平水期、枯水期和封冻期通航的最大船只及吨位，取得船只的可能性； （3）码头装卸能力、最大起重量，增设码头的可能性； （4）渡口的渡船能力，同时可载汽车数，每日次数，能为施工提供的能力； （5）运费、渡口费、装卸费	

表2－6 供水、供电、供气条件调查内容

序号	项目	调查内容
1	给水排水	（1）与当地现有水源连接的可能性，可供水量，接管地点、管径、管材、埋深、水压、水质、水费，至工地距离，地形地物情况。 （2）临时供水源：利用江河、湖水的可能性，水源、水量、水质，取水方式，至工地距离，地形地物情况，临时水井位置、深度、出水量、水质。 （3）利用永久排水设施的可能性，施工排水去向、距离、坡度，有无洪水影响，现有防洪设施、排洪能力
2	供电与通信	（1）电源位置，引入的可能性，允许供电容量、电压、导线截面、距离、电费、接线地点，至工地距离，地形地物情况； （2）建设单位、施工单位自有发电、变电设备的规格型号、台数、能力、燃料、资料及可能性； （3）利用邻近电信设备的可能性，电话、电报局至工地距离，增设电话设备和计算机等自动化办公设备和线路的可能性
3	供气	（1）蒸汽来源，可供能力、数量，接管地点、管径、埋深，至工地距离，地形地物情况，供气价格，供气的正常性； （2）建设单位和施工单位自有锅炉型号、台数、能力、所需燃料、用水水质、投资费用； （3）当地单位和建设单位提供压缩空气、氧气的能力，至工地距离

注：1. 资料来源：当地城建、供电局、水厂等单位及建设单位。
2. 调查目的：选择给水排水、供电、供气方式，做出经济比较。

表 2-7　三大材料、特殊材料及主要设备调查内容

序号	项目	调 查 内 容	调 查 目 的
1	三大材料	(1) 钢材订货的规格、牌号、强度等级、数量和到货时间； (2) 木材订货的规格、等级、数量和到货时间； (3) 水泥订货的品种、强度等级、数量和到货时间	(1) 确定临时设施和堆放场地； (2) 确定木材加工计划； (3) 确定水泥储存方式
2	特殊材料	(1) 需要的品种、规格、数量； (2) 试制、加工和供应情况； (3) 进口材料和新材料	(1) 制订供应计划； (2) 确定储存方式
3	主要设备	(1) 主要工艺设备的名称、规格、数量和供货单位； (2) 分批和全部到货时间	(1) 确定临时设施和堆放场地； (2) 拟订防雨措施

表 2-8　建设地区社会劳动力和生活设施调查内容

序号	项目	调 查 内 容	调 查 目 的
1	社会劳动力	(1) 少数民族地区的风俗习惯； (2) 当地能提供的劳动力人数、技术水平、工资费用和来源； (3) 上述人员的生活安排	(1) 拟订劳动力计划； (2) 安排临时设施
2	房屋设施	(1) 必须在工地居住的单身人数和户数； (2) 能作为施工用的现有的房屋栋数、每栋面积、结构特征、总面积、位置，水、暖、电、卫、设备状况； (3) 上述建筑物的适宜用途，用作宿舍、食堂、办公室	(1) 确定现有房屋为施工服务的可能性； (2) 安排临时设施
3	周围环境	(1) 主副食品、日用品供应，文化教育、消防治安等机构能为施工提供的支援能力； (2) 邻近医疗单位至工地的距离，可能就医的情况； (3) 当地的公共汽车、邮电服务情况； (4) 周围是否存在有毒有害气体及其污染情况，有无地方病	安排职工生活基地，解除后顾之忧

表 2-9　参加施工的各单位能力调查内容

序号	项目	调 查 内 容
1	工人	(1) 工人数量、分工种人数，能投入本工程施工的人数； (2) 专业分工及一专多能的情况、工人组队形式； (3) 定额完成情况、工人技术水平、技术等级构成
2	管理人员	(1) 管理人员总数，所占比例； (2) 其中技术人员数、专业情况、技术职称，其他人员数

续表

序号	项目	调 查 内 容
3	施工机械	(1) 机械名称、型号、能力、数量、新旧程度、完好率，能投入本工程施工的情况； (2) 总装备程度； (3) 分配、新购情况
4	施工经验	(1) 历年曾施工的主要工程项目、规模、结构、工期； (2) 习惯施工方法，采用过的先进施工方法，构件加工和生产能力、质量； (3) 工程质量合格情况，科研、革新成果
5	经济指标	(1) 劳动生产率，年完成能力； (2) 质量、安全、降低成本情况； (3) 机械化程度； (4) 工业化程度设备、机械的完好率、利用率

注：1. 资料来源：参加施工的各单位。
2. 调查目的：明确施工力量、技术素质，规划施工任务分配、安排。

2. 其他相关信息与资料的收集

其他相关信息与资料包括：现行的由国家有关部门制定的技术规范、规程及有关技术规定，如《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB 50300—2013) 及相关专业工程施工质量验收规范，《建筑施工安全检查标准》(JGJ 59—2011) 及有关专业工程安全技术规范、规程，《建设工程项目管理规范》(GB/T 50326—2017)、《建设工程文件归档整理规范》(GB/T 50328—2014)、《建筑工程冬期施工规程》(JGJ/T 104—2011) 及各专业工程施工技术规范等；企业现有的施工定额、施工手册、类似工程的技术资料及平时施工实践活动中所积累的资料等。收集这些相关信息与资料，是进行施工准备工作和编制施工组织设计的依据之一，可为其提供有价值的参考。

2.2 技术资料准备

技术资料准备即通常所说的“内业”工作，它是施工准备工作的核心，指导着现场施工准备工作，对于保证建筑产品质量、实现安全生产、加快工程进度、提高工程经济效益都具有十分重要的意义。任何技术差错和隐患都可能引起人身安全和质量事故，造成生命财产和经济的巨大损失，因此，必须重视做好技术资料准备，其主要内容包括：熟悉和会审图纸，编制中标后施工组织设计，编制施工预算等。

2.2.1 熟悉和会审图纸

施工图全部（或分阶段）出图以后，施工单位应依据建设单位和设计单位提供的初步

设计或扩大初步设计（技术设计）、施工图设计、建筑总平面图和城市规划等资料文件，调查、收集的原始资料和其他相关信息与资料，组织有关人员对设计图纸进行学习和会审，使参与施工的人员掌握施工图的内容、要求和特点，同时发现施工图中的问题，以确保工程施工顺利进行。

1. 熟悉图纸阶段

1）熟悉图纸工作的组织

由施工单位该工程项目经理部组织有关工程技术人员认真熟悉图纸，了解设计意图和建设单位要求，以及施工应达到的技术标准，明确施工流程。

2）熟悉图纸的要求

熟悉图纸的要点如下。

(1) 先粗后细。就是先看平面图、立面图、剖面图，后看细部做法。先对整个工程的概貌有一个了解，对总的长、宽尺寸，轴线尺寸、标高、层高、总高有一个大体的印象；然后再核对总尺寸与细部尺寸、位置、标高是否相符，门窗表中的门窗型号、规格、形状、数量是否与结构相符等。

(2) 先小后大。就是先看小样图，后看大样图。核对在平面图、立面图、剖面图中标注的细部做法与大样图的做法是否相符，所采用的标准构件图集编号、类型、型号与设计图纸有无矛盾，索引符号有无漏标之处，大样图是否齐全等。

(3) 先建筑后结构。就是先看建筑图，后看结构图。把建筑图与结构图相互对照，核对其轴线尺寸、标高是否相符，有无矛盾，查对有无遗漏尺寸，有无构造不合理之处。

(4) 先一般后特殊。就是先看一般的部位和要求，后看特殊的部位和要求。特殊部位一般包括地基处理方法、变形缝的设置、防水处理要求，以及抗震、防火、保温、隔热、防尘、特殊装修等技术要求。

(5) 图纸与说明结合。就是在看图时要对照设计总说明和图中的细部说明。核对图纸和说明有无矛盾，规定是否明确，要求是否可行，做法是否合理等。

(6) 土建与安装结合。就是看土建图时，要有针对性地看一些安装图。核对与土建有关的安装图有无矛盾，预埋件、预留洞、槽的位置和尺寸是否一致，了解安装对土建的要求，以考虑在施工中的协作配合。

(7) 图纸要求与实际情况结合。就是核对图纸有无不符合施工实际之处。核对建筑物相对位置、场地标高、地质情况等是否与设计图纸相符；对一些特殊的施工工艺，施工单位能否做到等。

2. 自审图纸阶段

1）自审图纸的组织

由该项目经理部组织各工种人员对本工种的有关图纸进行审查，掌握和了解图纸中的细节；在此基础上，由总承包单位内部的土建与水、暖、电等专业共同核对图纸，消除差错，协商施工配合事项；最后，总承包单位与外分包单位（如桩基施工、装饰工程施工、设备安装施工等）在各自审查图纸的基础上，共同核对图纸中的差错及协商有关施工配合的问题。

2）自审图纸的要求

(1) 审查拟建工程的地点，建筑总平面图同国家、城市或地区规划是否一致，以及建筑物或构筑物的设计功能和使用要求是否符合环卫、防火及美化城市方面的要求。

（2）审查设计图纸是否完整齐全，以及设计图纸和资料是否符合国家有关技术规范要求。

（3）审查建筑、结构、设备安装图纸是否相符，有无“错、漏、碰、缺”，内部结构和工艺设备有无矛盾。

（4）审查地基处理与基础设计同拟建工程地点的工程地质和水文地质等条件是否一致，建筑物或构筑物与原地下构筑物及管线之间有无矛盾，深基础的防水方案是否可靠，材料设备能否解决。

（5）明确拟建工程的结构形式和特点，复核主要承重结构的承载力、刚度和稳定性是否满足要求，审查设计图纸中形体复杂、施工难度大和技术要求高的分部分项工程或新结构、新材料、新工艺在施工技术和管理水平上能否满足质量和工期要求，选用的材料、构配件、设备等能否按期解决。

（6）明确建设期限，分期分批投产或交付使用的顺序和时间，以及工程所用的主要材料和设备的数量、规格、来源、供货日期。

（7）明确建设单位、设计单位和施工单位等之间的协作、配合关系，以及建设单位可以提供的施工条件。

（8）审查设计是否考虑了施工的需要，各种结构的承载力、刚度和稳定性是否满足设置塔式起重机（内爬式、附着式、固定式）等使用的要求。

3. 图纸会审阶段

1）图纸会审的组织

一般工程由建设单位组织并主持会议，设计单位交底，施工单位、监理单位参加。重点工程或规模较大及结构、装修较复杂的工程，如有必要可邀请各主管部门、消防、防疫与协作单位参加。图纸会审的一般组织程序是：设计单位做设计交底，施工单位对图纸提出问题，有关单位发表意见，与会者讨论、研究、协商，逐条解决问题并达成共识，组织会审的单位汇总成文，各单位会签，形成图纸会审纪要，如图 2-1 和表 2-10 所示。会审纪要作为与施工图纸具有同等法律效力的技术文件使用。

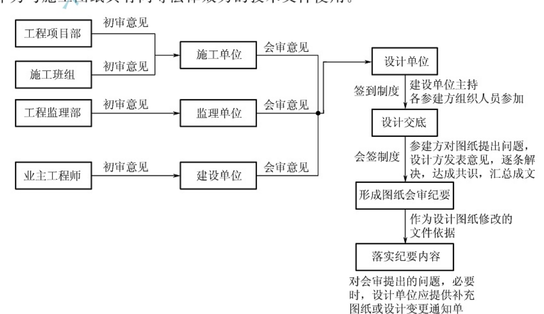


图 2-1 图纸会审的一般组织程序



表 2－10　图纸会审纪要

【图纸会审】　工程名称：　　　　年　月　日　　　　编号：001

建设单位		监理单位	
设计单位		专业名称	
地　点		页　数	共　页　第　页

序　号	图　号	图纸问题	答复意见

勘察单位	设计单位	施工单位	建设单位	监理（建设）单位
签名： 年　月　日	签名： 年　月　日	签名： 年　月　日	签名： 年　月　日	签名： 项目部（章） 年　月　日

注：施工单位整理汇总的图纸会审记录应一式六份，并应由建设单位、勘察单位、设计单位、监理单位、施工单位、城建档案馆各保存一份，表中勘察单位、设计单位签字栏应为项目专业设计负责人的签字，建设单位、施工单位签字栏应为项目技术负责人或相关专业负责人签字，监理单位应为总监理工程师签字。

2）图纸会审的要求

审查设计图纸及其他技术资料时，应注意以下问题。

（1）设计是否符合国家有关方针、政策和规定。

（2）建筑设计是否符合国家有关的技术规范尤其是强制性标准的要求，是否符合环境保护和消防安全的要求。

（3）建筑平面布置是否符合核准的按建筑红线划定的详图和现场实际情况，是否提供了符合要求的永久水准点或临时水准点位置。

（4）图纸及说明是否齐全、清楚、明确。

（5）结构、建筑、设备等图纸本身及相互之间是否有错误和矛盾，图纸与说明之间有无矛盾。

（6）有无特殊材料（包括新材料）要求，其品种、规格、数量能否满足需要。

(7) 设计是否符合施工技术装备条件，当需采取特殊技术措施时，技术上有无困难，能否保证安全施工。

(8) 地基处理及基础设计有无问题，建筑物与地下构筑物、管线之间有无矛盾。

(9) 建（构）筑物及设备的各部位尺寸、轴线位置、标高、预留孔洞及预埋件、大样图及做法说明等有无错误和矛盾。

2.2.2 编制中标后施工组织设计

中标后施工组织设计，是施工单位在施工准备阶段编制的用于指导拟建工程从施工准备到竣工验收乃至保修回访的技术、经济、组织的综合性文件，也是编制施工预算、实行项目管理的依据，还是施工准备工作的主要文件。它是在投标书施工组织设计的基础上，结合所收集的原始资料和相关信息资料，根据图纸会审纪要，按照编制施工组织设计的基本原则，综合建设单位、监理单位、设计意图的具体要求进行编制，以保证工程好、快、省、安全、顺利地完成。

施工单位必须在约定的时间内完成中标后施工组织设计的编制与自审工作，并填写施工组织设计报审表，报送项目监理机构。总监理工程师应在约定的时间内，组织专业监理工程师审查，提出审查意见后，由总监理工程师审定批准。当需要施工单位修改时，由总监理工程师签发书面意见，退回施工单位修改后再报审，总监理工程师应重新审定。已审定的施工组织设计由项目监理机构报送建设单位。施工单位应按审定的施工组织设计文件组织施工，如需对其内容做较大变更，应在实施前将变更书面内容报送项目监理机构重新审定。对规模大、结构复杂或属于新结构、特种结构的工程，专业监理工程师提出审查意见后，由总监理工程师签发审查意见，必要时应与建设单位协商，组织有关专家会审。

2.2.3 编制施工预算

施工预算是施工单位根据施工合同价款、施工图纸、施工组织设计或施工方案、施工定额等文件进行编制的企业内部经济文件，它直接受施工合同中合同价款的控制，是施工前的一项重要准备工作。它是施工企业内部控制各项成本支出、考核用工、签发施工任务书、限额领料，基层进行经济核算、经济活动分析的依据。在施工过程中，要按施工预算严格控制各项指标，以降低工程成本和提高施工管理水平。

2.3 资源准备

2.3.1 劳动力组织准备

工程项目能否按目标完成，很大程度上取决于承担这一工程的施工人员的素质。劳动力组织准备包括施工管理层和作业层两大部分，这些人员的合理选择和配备，将直接影响

工程质量与安全、施工进度及工程成本，因此，劳动力组织准备是开工前施工准备的一项重要内容。

1. 建设项目组织机构

组织是目标能否实现的决定性因素，常用的组织结构模式包括职能组织结构、线性组织结构和矩阵组织结构。


【组织机构】

对于实行项目管理的工程，建立项目组织机构就是建立项目经理部。高效率的项目组织机构的建立是为建设单位服务的，也是为项目管理目标服务的。施工企业建立项目经理部，要针对工程特点和建设单位要求，根据有关规定进行精心的组织安排，认真抓实、抓细、抓好。

(1) 项目组织机构的设置应遵循以下原则。

① 用户满意原则。

② 全能配套原则。项目经理要掌握安全管理知识、善经营、懂技术，能担任公关，且要具有较强的适应能力、应变能力和开拓进取精神。项目经理部成员要有施工经验和创新精神，同时要有较高的工作效率。项目经理部既要合理分工又要密切协作，人员配置应满足施工项目管理的需要，如大型项目，管理人员必须具有一级项目经理资质，管理人员中的高级职称人员不应低于10%。

③ 精干高效原则。施工管理机构要尽量压缩管理层次，因事设职，因职选人，做到管理人员精干、一职多能、人尽其才、恪尽职守，以适应市场变化的要求；避免纪律松散、机构重叠、人浮于事。

④ 管理跨度原则。管理跨度过大，鞭长莫及且心有余而力不足；管理跨度过小，人员增多，容易造成资源浪费。因此，施工管理机构各层面设置是否合理，要看确定的管理跨度是否科学，也就是应使每一个管理层面都保持适当的工作幅度，以使其各层面管理人员在职责范围内实施有效的控制。

⑤ 系统化管理原则。建设项目是由许多子系统组成的有机整体，系统内部存在大量的“结合”部，各层次的管理职能的设计要形成一个相互制约、相互联系的完整体系。

(2) 项目经理部的设立步骤。

① 根据企业批准的“项目管理规划大纲”，确定项目经理部的管理任务和组织形式。

② 确定项目经理部的层次，设立职能部门与工作岗位。

③ 确定人员、职责、权限。

④ 由项目经理根据“项目管理目标责任书”进行目标分解。

⑤ 组织有关人员制定规章制度和目标责任考核、奖惩制度。

(3) 项目经理部的组织形式应根据施工项目的规模、结构复杂程度、专业特点、人员素质和地域范围确定。

2. 组织精干的施工队伍

(1) 组织施工队伍，要认真考虑专业工种的合理配合，技工和普工的比例要满足合理的劳动组织要求。按组织施工方式的要求，确定建立混合施工队组或是专业施工队组及其数量。组建施工队组，要坚持合理、精干的原则，同时制订出该工程的劳动力需用量计划。

(2) 集结施工力量，组织劳动力进场。项目经理部确定之后，按照开工日期和劳动力需用量计划组织劳动力进场。

3. 优化劳动组合与技术培训

针对工程施工要求，强化各工种的技术培训，优化劳动组合，主要抓好以下几方面的工作。


【安全生产教育培训制度】

（1）针对工程施工难点，组织工程技术人员和工人队组中的骨干力量，进行类似工程的考察学习。

（2）做好专业工程技术培训，提高对新工艺、新材料使用操作的适应能力。

（3）强化质量意识，抓好质量教育，增强质量观念。

（4）工人队组实行优化组合、双向选择、动态管理，最大限度地调动职工的积极性。

（5）认真全面地进行施工组织设计的落实和技术交底工作。施工组织设计、计划和技术交底的目的是把施工项目的设计内容、施工计划和施工技术等要求，详尽地向施工队组和工人讲解交代，交底安排在单位工程或分部（项）工程开工前及时进行，以保证项目严格地按照设计图纸、施工组织设计、安全操作规程和施工验收规范等要求进行施工。

施工组织设计、计划和技术交底的内容有：项目的施工进度计划、月（旬）作业计划；施工组织设计，尤其是施工工艺、质量标准、安全技术措施、降低成本措施和施工验收规范的要求；新结构、新材料、新技术和新工艺的实施方案和保证措施；图纸会审中所确定的有关部位的设计变更和技术核定等事项。交底工作应该按照管理系统逐级进行，由上而下直到工人队组。交底的方式有书面形式、口头形式和现场示范形式等。


【施工技术交底】

施工队组、工人接受施工组织设计、计划和技术交底后，要组织其成员进行认真的分析研究，弄清关键部位、质量标准、安全措施和操作要领。必要时应该进行示范，并明确任务、做好分工协作，同时建立、健全岗位责任制和保障措施。

（6）切实抓好施工安全、安全防火和文明施工等方面的教育。

4. 建立、健全各项管理制度

工地的各项管理制度是否建立、健全，直接影响其各项施工活动的顺利进行。有章不循，其后果是严重的，而无章可循更危险。为此必须建立、健全工地的各项管理制度，通常其内容包括：项目管理人员岗位责任制度，项目技术管理制度，项目质量管理制度，项目安全管理制度，项目计划、统计与进度管理制度，项目成本核算制度，项目材料、机械设备管理制度，项目现场管理制度，项目分配与奖励制度，项目例会及施工日志制度，项目分包及劳务管理制度，项目组织协调制度，项目信息管理制度。项目经理部自行制定的规章制度与企业现行的有关规定不一致时，应报送企业或其授权的职能部门批准。

5. 做好分包安排

对于本企业难以承担的一些专业项目，如深基础开挖和支护、大型结构安装和设备安装等项目，应及早做好分包或劳务安排，与有关单位协调，签订分包合同或劳务合同，以保证项目按计划施工。

6. 组织好科研攻关

凡工程中采用带有试验性质的一些新材料、新产品、新工艺项目，应在建设单位、主管部门的参加下，组织有关设计、科研、教学单位共同进行科研工作。要明确相互承担的试验项目、工作步骤、时间要求、经费来源和职责分工。所有科研项目，必须经过技术鉴定后，再用于施工。

2.3.2 物资准备

物资准备是指对施工中必须有的劳动手段（施工机械、工具）和劳动对象（材料、配件、构件）等的准备，是一项较为复杂而又细致的工作。物资准备的具体内容有材料准备、构配件及设备加工订货准备、施工机具准备、生产工艺设备准备、运输准备和施工物资价格管理等。

建筑施工所需的材料、构配件、机具和设备品种多且数量大，能否保证按计划供应，对整个施工过程的工期、质量和成本有着举足轻重的作用。各种施工物资只有运到现场并有必要的储备后，才具备必要的开工条件，因此要将这项工作作为施工准备工作的一个重要方面来抓。施工管理人员应尽早计算出各阶段对材料、施工机械、设备、工具等的需用量，并说明供应单位、交货地点、运输方式等，特别是对预制构件，必须尽早从施工图中摘录出构件的规格、质量、品种和数量，制表造册，向预制加工厂订货并确定分批交货清单、交货地点及时间，对大型施工机械、辅助机械及设备要精确计算工作日，并确定进场时间，做到进场后立即使用，用毕后立即退场，提高机械利用率，节省机械台班费及停留费。

1. 材料准备

（1）根据施工方案中的施工进度计划和施工预算中的工料分析，编制工程所需材料用量计划，作为备料、供料，以及确定仓库、堆场面积及组织运输的依据。

（2）根据材料需用计划，做好材料的申请、订货和采购工作，使计划得到落实。

（3）组织材料按计划进场，按施工平面图和相应位置堆放，并做好合理储备、保管工作。

（4）严格验收、检查、核对材料的数量和规格，做好材料试验和检验工作，保证施工质量。

2. 构配件及设备加工订货准备

（1）根据施工进度计划及施工预算所提供的各种构配件及设备数量，做好加工翻样工作，并编制相应的需用量计划。

（2）根据需用计划，向有关厂家提出加工订货计划要求，并签订订货合同。

（3）组织构配件及设备按计划进场，按施工平面布置图做好存放及保管工作。

3. 施工机具准备

（1）各种土方机械、混凝土和砂浆搅拌设备、垂直及水平运输机械、钢筋加工设备、木工机械、焊接设备、打夯机、排水设备等，应根据施工方案，对施工机具配备的要求、数量及施工进度进行安排，编制施工机具需用量计划。

（2）拟由本企业内部负责解决的施工机具，应根据需用量计划组织落实，确保按期供应。

（3）施工企业缺少且需要的施工机具，应与有关方面签订订购和租赁合同，以保证施工需要。

（4）对于大型施工机械（如塔式起重机、挖土机、桩基设备等）的需求量和时间，应与有关方面（如专业分包单位）联系，提出要求，在落实后签订分包合同，并为大型机械按期进场做好现场有关准备工作。

（5）安装、调试施工机具，按照施工机具需用量计划，组织施工机具进场，根据施工总平面图将施工机具安置在规定的地点或仓库。对于固定的施工机具，要进行就位、搭棚、接电源、保养、调试工作。所有施工机具都必须在使用前进行检查和试运转。

4. 生产工艺设备准备

订购生产用的工艺设备，要注意交货时间与土建进度密切配合，因为某些庞大设备的安装往往要与土建施工穿插进行，在土建全部完成或封顶后进行安装会有困难，故各种设备的交货时间要与安装时间密切配合，它将直接影响建设工期。准备时按照施工项目工艺流程及工艺设备的布置图，提出工艺设备的名称、型号、生产能力和需用量，确定分期分批的进场时间和保管方式，编制工艺设备需用量计划，为组织运输、确定堆场面积提供依据。

5. 运输准备

（1）根据上述4项需用量计划，编制运输需用量计划，并组织落实运输工具。

（2）按照上述4项需用量计划确定的进场日期，联系和调配所需运输工具，确保材料、构配件和机具设备按期进场。

6. 强化施工物资价格管理

（1）建立市场信息制度，定期收集市场物资价格信息，提高透明度。

（2）在市场价格信息指导下，“货比三家”，选优进货；对大宗物资的采购要采取招标采购方式，在保证物资质量和工程质量的前提下，降低成本、提高效益。

2.4 施工现场准备

施工现场是施工的全体参加者为了夺取优质、高速、低耗的目标，而有节奏、均衡、连续地进行战术决战的活动空间。施工现场的准备工作，主要是为了给施工项目创造有利的施工条件，是保证工程按计划开工和顺利进行的重要环节。

2.4.1 施工现场准备工作的范围及各方职责

施工现场准备工作由两个方面组成，一是建设单位应完成的施工现场准备工作，二是施工单位应完成的施工现场准备工作。只有当建设单位与施工单位的施工现场准备工作均就绪时，施工现场才具备施工条件。

1. 建设单位施工现场准备工作

建设单位要按合同条款中约定的内容和时间完成以下工作。

（1）办理土地征用、拆迁补偿、平整施工场地等工作，使施工场地具备施工条件，在开工后继续负责解决以上事项的遗留问题。

（2）将施工所需水、电、电信线路从施工场地外部接至专用条款约定地点，以保证施工期间的需要。

（3）开通施工场地与城乡公共道路的通道，以及专用条款约定的施工场地内的主要道路，以满足施工运输的需要，保证施工期间的畅通。

（4）向承包人提供施工场地的工程地质和地下管线资料，并对资料的真实准确性负责。

（5）办理施工许可证及其他施工所需证件、批件和临时用地、停水、停电、中断道路交通、爆破作业等的申请批准手续（证明承包人自身资质的证件除外）。

（6）确定水准点与坐标控制点，以书面形式交给承包人，并进行现场交验。

（7）协调处理施工场地周围的地下管线和邻近建筑物、构筑物（包括文物保护建筑）、古树名木的保护工作，承担有关费用。

上述施工现场准备工作，承发包双方也可在合同专用条款内约定交由施工单位完成，其费用由建设单位承担。

2. 施工单位施工现场准备工作

施工单位施工现场准备工作即通常所说的室外准备，施工单位应按合同条款中约定的内容和施工组织设计的要求完成以下工作。

（1）根据工程需要，提供和维修非夜间施工使用的照明、围栏设施，并负责安全保卫。

（2）按专用条款约定的数量和要求，向发包人提供施工场地办公和生活的房屋及设施，发包人承担由此发生的费用。

（3）遵守政府有关主管部门对施工场地交通、施工噪声，以及环境保护和安全生产等的管理规定，按规定办理有关手续，并以书面形式通知发包人，发包人承担由此发生的费用，因承包人责任造成的罚款除外。

（4）按专用条款约定做好施工场地地下管线和邻近建筑物、构筑物（包括文物保护建筑）、古树名木的保护工作。

（5）保证施工场地清洁符合环境卫生管理的有关规定。

（6）建立测量控制网。

（7）工程用地范围内的“七通一平”，其中平整场地工作应由其他单位承担，但建设单位也可要求施工单位完成，费用仍由建设单位承担。

（8）搭设现场生产和生活用的临时设施。

2.4.2 拆除障碍物


【爆破拆除】

施工现场内的一切地上、地下障碍物，都应在开工前拆除。这项工作一般由建设单位来完成，但也有委托施工单位来完成的。如果由施工单位来完成这项工作，一定要事先摸清现场情况，尤其是在城市的老区中，由于原有建筑物和构筑物情况复杂，而且往往资料不全，在拆除前需要采取相应的措施，防止发生事故。

对于房屋的拆除，一般只要把水源、电源切断后即可进行作业。当房屋较大、较坚固，需采用爆破的方法时，必须经有关部门批准，由专业的爆破作业人员来承担。

架空电线（包括电力、通信）、地下电缆（包括电力、通信）的拆除，要与电力部门或通信部门联系并办理有关手续后方可进行。

自来水、污水、燃气、热力等管线的拆除，都应与有关部门取得联系，办好手续后由专业公司来完成。

场地内若有树木，需报园林部门批准后方可砍伐。

拆除障碍物留下的渣土等杂物都应清除出场外。运输时，应遵守交通、环保部门的有关规定，运土的车辆要按指定的路线和时间行驶，并采取封闭运输车或在渣土上直接洒水等措施，以免渣土飞扬而污染环境。

2.4.3 建立测量控制网

(1) 场区控制网，应充分利用勘察阶段的已有平面和高程控制网。原有平面控制网的边长，应投影到测区的相应施工高程上，并进行复测检查。当原有平面控制网的精度满足施工要求时，可作为场区控制网使用，否则应重新建立场区控制网。新建场区控制网，可利用原控制网中的点组（由3个或3个以上的点组成）进行定位。小规模场区控制网，也可选用原控制网中一个点的坐标和一个边的方位进行定位。

(2) 建筑物施工控制网，应根据场区控制网进行定位、定向和起算。控制网的坐标轴，应与工程设计所采用的主副轴线一致；建筑物的±0.000高程面，应根据场区水准点测设。

(3) 建筑方格网点的布设，应与建（构）筑物的设计轴线平等，并构成正方形或矩形方格网。方格网的测设方法，可采用布网法或轴线法。当采用布网法时，宜增测方格网的对角线；当采用轴线法时，长轴线的定位点不得少于3个。

2.4.4 “七通一平”

“七通一平”是指建设项目在施工以前，施工现场应达到路通、给水通、排水通、排污通、电及电信通、蒸汽及燃气通和场地平整等条件的简称。

(1) 路通。施工现场的道路是组织物资进场的动脉，拟建工程开工前，必须按照施工总平面图的要求，修建必要的临时性道路。为节约临时工程费用、缩短施工准备工作时间，宜尽量利用原有道路设施或拟建永久性道路解决现场道路问题，形成畅通的运输网络，确保运输和消防用车等的行驶畅通。临时道路的等级，可根据交通流量和所用车种决定。

(2) 给水通。施工用水包括生产、生活与消防用水，应按施工总平面图的规划进行安排，施工给水尽可能与永久性的给水系统结合起来。临时管线的铺设，既要满足施工现场用水的需用量，又要方便施工，并且尽量缩短管线的长度，以降低工程的成本。

(3) 排水通。施工现场的排水也十分重要，特别在雨期，如场地排水不畅，会影响施工和运输的顺利进行。高层建筑的基坑深、面积大，施工往往要经过雨期，应做好基坑周围的挡土支护工作，防止坑外雨水向坑内汇流，并做好基坑底部雨水的排放工作。

(4) 排污通。施工现场的污水排放，会直接影响城市的环境卫生。由于环境保护的要求，有些污水不能直接排放，需进行处理后方可排放，因此现场的排污也是一项重要的工作。

(5) 电及电信通。电是施工现场的主要动力来源，施工现场用电包括施工生产用电和生活用电。由于建筑工程施工供电面积大、启动电流大、负荷变化多、手持式用电机具多，所以施工现场临时用电要考虑安全和节能措施。开工前，要按照施工组织设计的要求，接通电力和电信设施，电源首先应考虑从建设单位给定的电源上获得，如其供电能力不能满足施工用电需要，则应考虑在现场建立自备发电系统，确保施工现场动力设备和通信设备的正常运行。

(6) 蒸汽及燃气通。施工中如需要通蒸汽、燃气，应按施工组织设计的要求进行安排，以保证施工的顺利进行。

(7) 场地平整。清除障碍物后，即可进行场地平整工作，按照建筑施工总平面、勘测地形图和场地平整施工方案等技术文件的要求，通过测量，计算出填挖土方工程量，设计土方调配方案，确定场地平整的施工方案，组织人力和机械进行场地平整的工作。应尽量做到挖填方量趋于平衡，使总运输量最小，便于机械施工。应充分利用建筑物挖方填土，防止利用地表土、软润土层、草皮、建筑垃圾等做填方。

2.4.5 搭设临时设施

施工现场生产和生活用的临时设施，应按照施工平面布置图的要求进行搭设，临时建筑平面图及主要房屋结构图都应报请城市规划、市政、消防、交通、环境保护等有关部门审查批准。

为了施工方便、行人安全及文明施工，应用围墙将施工用地围护起来，围墙的形式、材料和高度应符合市容管理的有关规定和要求，并在主要出入口设置标牌挂图，标明工程项目名称、施工单位、项目负责人等。

所有生产和生活用的临时设施，包括各种仓库、搅拌站、加工厂作业棚、宿舍、办公用房、食堂、文化生活设施等，均应按批准的施工组织设计的要求组织搭设，并尽量利用施工现场或附近原有设施（包括要拆迁但可暂时利用的建筑物）和在建工程本身供施工使用的部分用房，尽可能减少临时设施的数量，以节约用地、节省投资。

2.5 季节性施工准备


【冬雨期施工技术】

建筑工程施工绝大部分工作是露天作业，受气候影响比较大，因此，在冬期、雨期及夏季施工中，必须从具体条件出发，正确选择施工方法，做好季节性施工准备工作，以保证按期、保质、安全地完成施工任务，取得较好的技术经济效果。

2.5.1 冬期施工准备

1. 组织措施

(1) 合理安排施工进度计划。冬期施工条件差，技术要求高，费用增加，因此要合理安排施工进度计划，尽量安排保证施工质量且费用增加不多的项目在冬期施工，如吊装、打桩、室内装饰装修等工程；而费用增加较多又不容易保证质量的项目，则不宜安排在冬期施工，如土方、基础、外装修、屋面防水等工程。

(2) 进行冬期施工的工程项目，在入冬前应组织编制冬期施工方案，结合工程实际及施工经验等进行，编制可依据《建筑工程冬期施工规程》(JGJ/T 104—2011)。编制的原则是：确保工程质量，经济合理，使增加的费用为最少；所需的热源和材料有可靠的来源，并尽量减少能源消耗；确保能缩短工期。冬期施工方案应包括施工程序，施工方法，现场布置，设备、材料、能源、工具的供应计划，安全防火措施，测温制度和质量检查制度等。方案确定后，要组织有关人员学习，并向队组进行交底。

(3) 组织人员培训。进入冬期施工前，对掺外加剂人员、测温保温人员、锅炉司炉工和火炉管理人员，应专门组织技术业务培训，学习本工作范围内的有关知识，明确职责，经考试合格后，方准上岗工作。

(4) 与当地气象台站保持联系，及时接收天气预报，防止寒流突然袭击。

(5) 安排专人测量施工期间的室外气温、暖棚内气温、砂浆温度、混凝土的温度，并做好记录。

2. 图纸准备

凡进行冬期施工的工程项目，必须复核施工图纸，查对其是否能适应冬期施工要求。如墙体的高厚比、横墙间距等有关的结构稳定性，现浇改为预制及工程结构能否在寒冷状态下安全过冬等问题，应通过图纸会审解决。

3. 现场准备

(1) 根据实物工程量提前组织有关机具、外加剂、保温材料和测温材料进场。

(2) 搭建加热用的锅炉房、搅拌站、敷设管道，对锅炉进行试火试压，对各种加热的材料、设备要检查其安全可靠性。

(3) 计算变压器容量，接通电源。

(4) 对工地的临时给水排水管道及石灰膏等材料做好保温防冻工作，防止道路积水成冰，及时清扫积雪，保证运输顺利。

(5) 做好冬期施工混凝土、砂浆及掺外加剂的试配试验工作，提出恰当的施工配合比。

(6) 做好室内施工项目的保温，如先完成供热系统，安装好门窗玻璃等，以保证室内其他项目能顺利施工。

4. 安全与防火

(1) 冬期施工时，要采取防滑措施。

(2) 大雪后必须将架子上的积雪清扫干净，并检查马道平台，如有松动下沉现象，务必及时处理。

（3）施工时如接触汽源、热水，要防止烫伤；使用氯化钙、漂白粉时，要防止腐蚀皮肤。

（4）亚硝酸钠有剧毒，要严加保管，防止突发性误食中毒。

（5）对现场火源要加强管理。使用天然气、煤气时，要防止爆炸；使用焦炭炉、煤炉或天然气、煤气时，应注意通风换气，防止煤气中毒。

（6）电源开关、控制箱等设施要加锁，并设专人负责管理，防止漏电、触电。

2.5.2 雨期施工准备

（1）合理安排雨期施工。为避免雨期窝工造成的损失，一般情况下，在雨期到来之前，应多安排完成基础、地下工程、土方工程、室外及屋面工程等不宜在雨期施工的项目，多留些室内工作在雨期施工。

（2）加强施工管理，做好雨期施工的安全教育。要认真编制雨期施工技术措施（如雨期前后的沉降观测措施，保证防水层雨期施工质量的措施，保证混凝土配合比、浇筑质量的措施，钢筋除锈的措施等），认真组织贯彻实施。加强对职工的安全教育，防止各种事故发生。

（3）防洪排涝，做好现场排水工作。工程地点若在河流附近，上游有大面积山地丘陵，应有防洪排涝准备。施工现场雨期来临前，应做好排水沟渠的开挖，准备好抽水设备，防止场地积水和地沟、基槽、地下室等浸水，对工程施工造成损失。

（4）做好道路维护，保证运输畅通。雨期前检查道路边坡排水，适当提高路面，防止路面凹陷，保证运输畅通。

（5）做好物资的储存。雨期到来前，应多储存物资，减少雨期运输量，以节约费用。要准备必要的防雨器材，库房四周要有排水沟渠，并做好地面防潮和屋面防漏雨工作，防止物资淋雨浸水而变质。

（6）做好机具设备等防护。雨期施工，对现场的各种设施、机具要加强检查，特别是脚手架、垂直运输设施等要采取防倒塌、防雷击、防漏电等一系列技术措施，现场机具设备（焊机、闸箱等）要有防雨措施。

2.5.3 夏季施工准备

（1）编制夏季施工项目的施工方案。夏季施工条件差、气温高、干燥，针对夏季施工的这一特点，对于安排在夏季施工的项目，应编制夏季施工的施工方案并采取相应的技术措施。如对于在夏季施工的大体积混凝土，必须合理选择浇筑时间，做好测温和养护工作，以保证大体积混凝土的施工质量。



【季节性措施案例】

（2）现场防雷装置的准备。夏季经常有雷雨，工地现场应有防雷装置，特别是高层建筑和脚手架等要按规定设置临时避雷装置，并确保工地现场用电设备的安全运行。

（3）施工人员防暑降温工作的准备。夏季施工，还必须做好施工人员的防暑降温工作，调整作息时间，从事高温工作的场所及通风不良的地方应加强通风和降温措施，做到安全施工。

【案例】长沙×××工程双螺旋体异形钢结构BIM测量技术

1. 项目概况

长沙×××工程的标志性建筑为双螺旋体景观构筑物，最高点约34m，环道外边界直径最大约86m，两条相互环绕、采用三角支撑架结构的环形通道，由内部螺旋外扩上升，绕过柱顶后在外部螺旋收缩下降，连接着一列密集的廊柱，如图2-2所示。双螺旋体斜立柱共32根，立柱与水平面的夹角为62.02°，相邻斜立柱在水平面上的投影夹角为11.25°，相邻斜立柱之间以钢棒连接，以保证结构的整体稳定性。该种造型目前在国内鲜有出现，因此精确的结构测量是保证工程质量的关键。

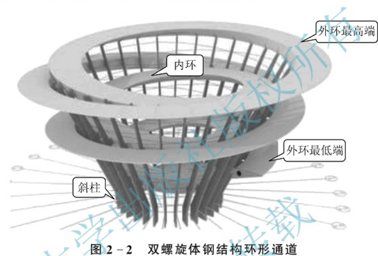


图2-2 双螺旋体钢结构环形通道

2. 重点与难点

(1) 构筑物位于梅溪湖城市岛上，高精度的高空平面控制网和高程控制点的布设受场地限制，定位测量控制难度大。

(2) 钢结构空间变化多样，多为大截面弯扭结构交错形成双螺旋体状，测控精度要求高。

(3) 施工工期短，各分项工程及工序交叉作业多，控制点使用频率高，必须建立长期稳定、统一的测量控制体系。

(4) 内业计算和外业施测工作量较大，数据处理、测控方法的选择及放样工具的选择，直接影响测量放样的速度和精度。

(5) 因日照引起的温差影响，上部钢结构易出现变形现象，所以应选择有利的观测条件和观测时间，这对控制测量精度也很重要。

3. 总体思路

(1) 双螺旋体构筑物造型复杂，应遵循“先承重结构后悬挑结构”和“关键部位重点控制”的测量控制原则。根据工程空中定位测量控制难度大、精度要求高等特点，首先需要遵循“先承重结构后悬挑结构”的测量控制原则，先从32根斜立柱开始定位安装，再分别按螺旋状顺时针定位安装内环道及逆时针定位安装外环道；其次需要对关键部位进行重点控制，以确保整个钢结构空中定位测量控制的精度，保障钢结构的安装质量。

(2) 采用“BIM+智能型全站仪”测量控制技术进行重点控制。因双螺旋体造型中设

计有许多重要构件为变截面或异形曲面，其倾斜角度及定位在高空安装现场很难计算准确，必须依靠 BIM 技术利用计算机建立 Tekla 的三维实体模型，配合使用 BIM 360 系列软件来计算和获取测量所需的精确数据，再配合智能型全站仪进行定位测量，这大大提高了测量精度和测量控制的速度。

(3) 对于特殊部位（如双螺旋体 32 根斜立柱和柱顶环道安装），需要进行分段控制，预先制定好控制措施。

4. 方案实施

(1) 放样工艺流程。建立模型→校核控制点，布设三级控制网→准备数据模型→建立坐标系→创建设站控制点→创建放样点→上传及下载放样数据→搭设放样环境→设置测站→施工测量放样。

(2) 建立三维空间坐标系统。校核业主方提供的一级控制点，将误差按比例分配到首级控制网各控制点，在场地周边布置首级三维空间坐标控制体系；然后根据现场实际情况，在保证测绘精度的前提下，在双螺旋体构筑物外围布置二级三维空间坐标控制体系，如图 2-3 所示；最后采用内控、外控结合法将三级控制点布置在双螺旋体构筑物内部的合理位置，构成三级三维空间坐标控制体系，从而建立三维空间坐标控制系统。

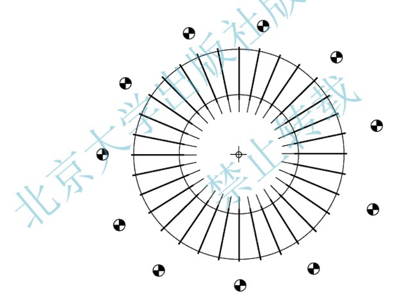


图 2-3　二级三维空间坐标控制体系

(3) 螺旋体斜立柱三维定位及测量校正。

① 螺旋体钢柱锚栓定位。地脚螺栓预埋前，先在螺旋体外侧布设轴线控制点，且所布设的轴线控制点都在同一条环形线上并与相交的轴线垂直，以便于地脚螺栓的安装及钢柱的校正。埋件吊装到承台后，先用水准尺量测调平埋件板，再使用智能型全站仪测量其控制点位置的三维空间坐标，根据移动端所显示的三维坐标差值指挥班组将埋件校正到指定位置。

② 斜立柱柱底定位。柱底就位后，使用智能型全站仪测量控制点位置的三维空间坐标，用千斤顶和撬棍进行校正。柱底就位后轴线偏差应不大于 5mm，钢柱扭转偏差不大于 5mm。

③ 斜立柱标高校正。钢柱吊装就位后，观测设置在柱底板之上 1m 处的标高线，如标高超过允许偏差值，则通过增加或减薄垫板厚度来调整钢柱标高。

④ 斜立柱垂直度校正。在斜立柱柱顶双向中轴线距离柱边 100mm 处用阳冲打点作为控制点，将激光反射片粘贴于控制点上，在 BIM 360 Layout 软件中设置点位并输出其三维坐标值（X，Y，Z）。柱子吊装到位后，将自动照准 WinCE 智能全站仪架设到视野开阔、平整且便于大面积观测的平面上，利用其免棱镜测量功能逐一测设各点，直到柱子设计坐标值与仪器所测坐标相吻合。钢柱安装垂直度允许偏差不应大于 $H/1000$ 及±10mm。

⑤ 斜立柱二节及以上柱定位及校正。对于第二节以上的钢柱吊装，首先是柱与柱接头应相互对准，塔式起重机松钩后，用智能型全站仪进行三维坐标点测量，校正上节钢柱垂直度时要考虑下节钢柱相对于轴线的偏差值，校正后上节柱顶相对于下节柱顶的偏差值应为负值，以使柱顶偏回到设计位置，从而便于钢柱的顺利吊装及保证钢柱的安装精度，如图 2-4 所示。

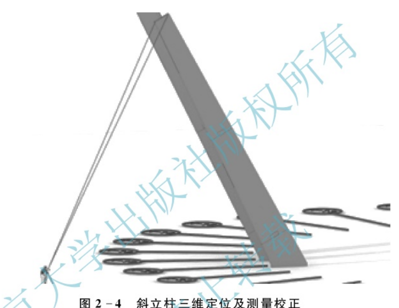


图 2-4　斜立柱三维定位及测量校正

当焊接完成后，对钢柱再次复测并做好记录，作为资料和上节钢柱吊装校正和焊接的参考依据。

（4）螺旋体环道三维定位及测量校正。

① 环道单元的拼装测量。环道单元拼装之前，根据深化设计图所给的各点（拼装胎架及拼装构件）相对三维坐标，对构件进行放样点的选取。在拼装过程中对需拼装构件三维坐标点进行测量，使其一一吻合，以完成拼装。

② 环道单元的安装测量。在环道单元的上表面 4 个角点用阳冲打点作为控制点，然后用智能型全站仪对各控制点进行三维坐标控制，环道单元通过连接板与斜立柱进行连接。环道单元安装测量示意如图 2-5 所示。

③ 环道单元的测量校正。环道单元临时固定后，使用智能型全站仪逐一校核各点，根据移动端显示的三维坐标差值，利用捯链微调环道的空间位置，直到移动端显示的三维坐标差值等于零为止。

5. 精度控制

（1）树立测量工程师的高精度意识，对 BIM 模型的建立、控制点的设计、放样点的选取、点位数据的计算、施测等做到步步有校核，在现场测量过程中，严格贯彻测量工作的自检、互检制度。

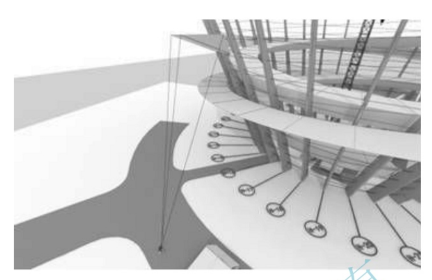


图 2－5　环道单元安装测量示意

（2）由于安装过程中悬挑构件较多，会在自重的影响下发生不同程度的变形，因此构件在运输、倒运、安装过程中，应采取合理的保护措施，如合理布设吊点、局部采取加强抵抗变形措施等来减少自重变形，提高安装精度。

（3）钢构件在安装过程中，因日照温差、焊接等会使钢结构产生收缩变形，从而影响结构的安装精度。因此在上一单元安装结束后，要通过观测其变形规律，结合具体变形条件，总结其变形量和变形方向，在下一构件定位测控时对其定位轴线实施反向预偏，即节点定位实施反三维空间变形，以消除安装误差的累积。

（4）在现场施工过程中，日照温度过高会导致光线发生折射现象。为了减小这种误差对测量工作所产生的影响，观测时间宜主要设在 6：00～10：00、17：00～19：00 的低温时段。

6. 效益分析

（1）确保测量精度。智能型全站仪精度较普通全站仪要高，可减少仪器本身误差对精度的影响；按“BIM＋智能型全站仪”测量技术结合 BIM 模型所包含的点位数据进行放样，三维坐标差值在移动端实时显示，可有效降低测量施工中的人为误差，使安装精度控制在 5mm 以内。

（2）提高测量效率。“BIM＋智能型全站仪”放样测量相对于传统放样方法需投入人数（3～4 人）可减少一半，只需 1～2 人即可，放样速度在 200～250 放样点/工作日（大面积放样），可节省人工 50％，缩短工期 20％以上。

（3）降低安全隐患。钢结构安装作业属于高空作业，使用自动照准 WinCE 智能全站仪配合激光反射片进行测量校核，减少了人工高空作业时间，有利于保证人员安全，减少事故发生的可能性。

（4）提升 BIM 应用价值。“BIM＋智能型全站仪”测量技术可以最大限度地把人从施工现场繁重的劳动中解脱出来，并能得到精度较高的数据。今后相关技术必将沿着数字化、一体化、自动化、信息化的方向发展，其发展趋势将是与云技术进一步集成，通过使用云技术利用网络可以达到移动终端和云端数据的同步，使 BIM 测量放样数据下载到移动终端和实际测量放样数据上传至云端更加快捷；还将与项目质量管控进一步融合，使质量控制和模型修正无缝地融入原有工作流程中，提升 BIM 的应用价值。

小结

施工准备工作作为生产经营管理的重要组成部分，是对拟建工程目标、资源供应和施工方案的选择及其空间布置和时间排列等诸方面进行的施工决策。它有利于企业搞好目标管理，推行技术经济责任制。

施工准备工作的内容一般可以归纳为：原始资料的收集与整理、技术资料准备、资源准备、施工现场准备和季节性施工准备。

施工准备工作贯穿于施工全过程中，做好施工准备工作，不打“无准备之战”，可以为项目带来良好的经济效益。

习题

一、思考题

1. 试述施工准备工作的重要性。
2. 简述施工准备工作的分类和主要内容。
3. 原始资料的调查包括哪些方面？还需要收集哪些相关信息与资料？
4. 熟悉图纸有哪些要求？图纸会审应包括哪些内容？
5. 资源准备包括哪些方面？如何做好劳动组织准备？
6. 施工现场准备包括哪些内容？
7. 如何做好冬期施工准备工作？
8. 如何做好雨期施工准备工作？
9. 如何做好夏季施工准备工作？

二、岗位（执业）资格考试真题

（一）单项选择题

1. 通常情况下，向施工单位提供施工场地内地下管线资料的单位是（　　）。

A. 勘察单位　　B. 建设单位　　C. 设计单位　　D. 监理单位

2. 下列是工程参建单位进行图纸会审的意义表述，不正确的是（　　）。

A. 熟悉施工图纸　　B. 领会设计意图、掌握工程特点

C. 调整预算造价　　D. 将设计缺陷消灭在施工之前

3. 图纸会审的一般程序排序正确的是（　　）。

①会审；②初审；③综合会审；④图纸学习

A. ①②③④　　B. ②④③①　　C. ④②①③　　D. ④②③①

4. 设计部门对原施工图纸和设计文件中所表达的设计标准状态的改变和修改称为（　　）。

A. 图纸会审　　B. 设计变更　　C. 工程签证　　D. 竣工验收

5. 关于施工预算和施工图预算比较的说法，正确的是（　　）。

A. 施工预算既适用于建设单位，也适用于施工单位

B. 施工预算的编制以施工定额为依据，施工图预算的编制以预算定额为依据

C. 施工预算是投标报价的依据，施工图预算是施工企业组织生产的依据

D. 编制施工预算依据的定额比编制施工图预算依据的定额粗略一些

（二）多项选择题

下列关于设计变更的管理，说法正确的有（　　）。

A. 变更发生得越早损失越小

B. 变更发生得越早损失越大

C. 在采购阶段变更仅需要修改图纸

D. 在采购阶段变更不仅需要修改图纸，还需要重新采购设备、材料



【单元2参考答案】

单元3 横道图进度计划



施工员岗位工作标准

1. 能正确划分施工区段，合理确定施工顺序。
2. 能够进行资源平衡计算。
3. 可参与编制施工进度计划及资源需求计划。

造价员岗位工作标准

具备从事一般建筑工程施工项目进度管理的能力。

知识目标

1. 了解组织施工的基本方式。
2. 掌握流水施工原理。
3. 掌握横道图的绘制方法。
4. 熟练应用横道图进度计划技术进行项目管理。

典型工作任务

任务描述	绘制基础工程横道图进度计划
考核时量	2.5小时（可划分为多个子任务：查阅定额、资源计算、绘制横道图进度计划）
设计条件及要求	

（1）位于湖南省××市区的某住宅楼工程，为五层砖混结构，建筑面积为3300m²，建筑平面为4个标准单元组合。施工模板采用竹胶合板，现场采用商品混凝土，仅砂浆现场拌制，垂直运输机械为塔式起重机。

（2）本工程开工日期为2016年5月3日，竣工日期为6月20日（工期可以提前，但必须控制在10%以内；工期不能延后）。

（3）采用流水施工方式组织施工。

（4）采用CAD软件绘制基础工程横道图进度计划，A2图幅。

（5）提供现行《建设工程劳动定额》一套，A4白纸每人2张。

续表

<table>
<tr><th colspan="7">工程量一览表（工艺顺序请自行调整）</th></tr>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th colspan="2">分部分项工程名称</th><th colspan="2" rowspan="2">施工条件说明</th><th colspan="2">工程量</th></tr>
<tr><th colspan="2">基础工程</th><th>单位</th><th>数量</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">人工挖基槽</td><td colspan="2">基槽底宽<1.5m，深度<3m，三类土</td><td>m^3</td><td>594</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">基础及室内回填土</td><td colspan="2">夯填，基槽底宽>0.5m</td><td>m^3</td><td>428.5</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">砌砖基础</td><td colspan="2">上部1砖厚大放脚条形基础</td><td>m^3</td><td>200.4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3">钢筋混凝土地圈梁</td><td>支模板</td><td>竹胶合板模板，圈梁高>0.12m</td><td rowspan="3">圈梁尺寸240mm×240mm，纵筋4ф12</td><td>m^2</td><td>160</td></tr>
<tr><td>扎钢筋</td><td>机制手绑</td><td>t</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td>浇混凝土</td><td>商品混凝土机捣，现场地泵运送</td><td>m^3</td><td>19.8</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">混凝土垫层</td><td colspan="2">带形混凝土垫层，商品混凝土机捣，现场地泵运送</td><td>m^3</td><td>90.3</td></tr>
</table>


【单元3任务答案】

流水施工方法是组织施工的一种科学方法。建筑工程的流水施工与工业企业中采用的流水线生产极为相似，不同的是，工业生产中各个工作在流水线上从前一工序向后一工序流动，生产者是固定的；而在建筑施工中各施工对象是固定不动的，专业施工队伍则由前一施工段向后一施工段流动，即生产者是移动的。生产实践证明，流水施工是组织工程项目施工最科学有效的方法之一，它建立在分工协作的基础上，充分利用工作面和工作时间，可提高劳动生产率，保证施工连续、均衡、有节奏地进行，达到提高工程质量、降低工程成本、缩短工期的效果。

3.1 施工进度计划概述

3.1.1 施工进度计划的分类

施工进度计划按编制对象的不同，可分为施工总进度计划、单位工程进度计划、分阶段工程（或专项工程）进度计划、分部分项工程进度计划四种。

3.1.2 施工程序和顺序合理安排的原则

施工程序和顺序随着施工规模、性质、设计要求、施工条件和使用功能的不同而变

化，但仍有可供遵循的共同规律，在施工进度计划编制过程中，需注意如下基本原则。

（1）在安排施工程序的同时，首先安排其相应的准备工作。

（2）首先进行全场性工程的施工，然后按照单位工程的顺序逐个进行单位工程的施工。

（3）“三通”工程应先场外后场内、由远而近、先主干后分支，排水工程要先下游后上游。

（4）遵循“先地下后地上”和“先深后浅”的原则。

（5）主体结构施工在前，装饰工程施工在后，随着建筑产品生产工厂化程度的提高，它们之间的先后时间间隔的长短也将发生变化。

（6）既要考虑施工组织要求的空间顺序，又要考虑施工工艺要求的工艺顺序；必须在满足施工工艺要求的前提下，尽可能利用工作面，使相邻两个工种在时间上合理且最大限度地搭接起来。

3.1.3 施工进度计划的表达方式

施工总进度计划可采用网络图或横道图表示，并附必要说明。单位工程施工进度计划一般工程用横道图（本单元讲述）表示即可，工程规模较大、工序比较复杂的工程宜采用网络图（单元4讲述）表示。

3.2 逻辑关系及组织施工的方式

3.2.1 逻辑关系

任何一个建筑工程都是经许多施工过程完成的，而每一个施工过程可以组织一个或多个施工队组（专业施工队伍）来进行施工。各施工过程之间存在的相互制约或依赖的关系，称为逻辑关系。施工过程之间的逻辑关系，包括工艺关系和组织关系。

1. 工艺关系

工艺关系是指生产工艺上客观存在的先后顺序关系，或者是非生产性工作之间由工作程序决定的先后顺序关系。如建筑工程施工时，一般先做基础后做主体，先做结构后做装修。一般情况下，工艺关系是不能随意改变的。

2. 组织关系

组织关系是指在不违反工艺关系的前提下，人为安排工作的先后顺序关系。如建筑群中各个建筑物的开工顺序的先后，施工对象的分段流水作业等。组织顺序可以根据具体情况，按安全、经济、高效的原则统筹安排。

3.2.2 组织施工的方式

下面以一个实例来说明组织施工的方式。

【例 3－1】 某四幢相同的砌体结构房屋的基础工程，划分为基槽挖土、混凝土垫层、砖砌基础、基槽回填土四个施工过程，每个施工过程安排一个施工队组，一班制施工，其中每幢楼挖土方工作队由 16 人组成，2 天完成；垫层工作队由 30 人组成，1 天完成；砌基础工作队由 20 人组成，3 天完成；回填土工作队由 10 人组成，1 天完成。试制订其施工进度计划。

1. 依次施工



【依次施工】

依次施工也称顺序施工，是将工程对象任务分解成若干个施工过程，按照一定的施工顺序，前一个施工过程完成后，后一个施工过程才开始施工；或前一个施工段完成后，后一个施工段才开始施工。它是一种最基本、最原始的施工组织方式。

若按照依次施工组织方式来进行施工，本例的进度计划安排如图 3－1、图 3－2 所示。

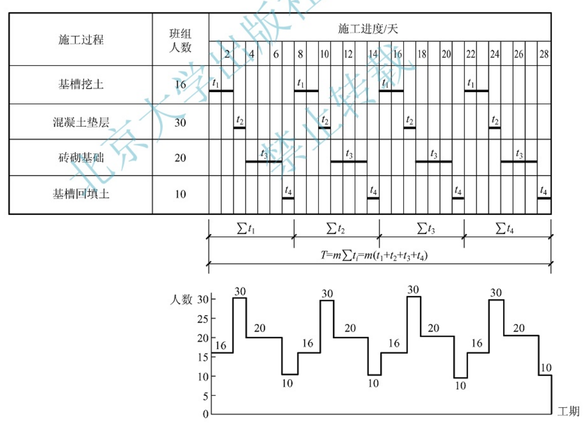


图 3－1 按幢（或施工段）依次施工

由图 3－1 和图 3－2 可以看出，依次施工组织方式的优点是每天投入的劳动力较少，机具使用不集中，材料供应较单一，施工现场管理简单，便于组织和安排。但依次施工组织方式的缺点如下。

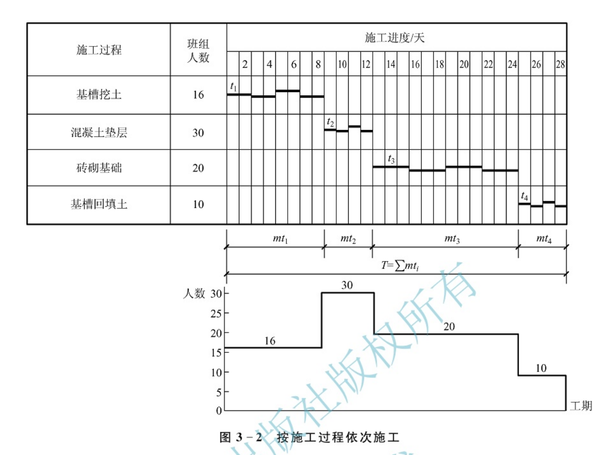


图 3－2 按施工过程依次施工

（1）由于没有充分利用工作面去争取时间，所以工期长。

（2）各队组施工及材料供应无法保持连续和均衡，工人有窝工的情况。

（3）不利于改进工人的操作方法和施工机具，不利于提高工程质量和劳动生产率。

（4）按施工过程依次施工时，各施工队组虽能连续施工，但不能充分利用工作面，工期长，且不能及时为上部结构提供工作面。

由此可见，采用依次施工不但工期拖得较长，而且在组织安排上也不尽合理。当工程规模比较小、施工工作面又有限时，依次施工是比较合适的，也是常见的。

2. 平行施工

平行施工组织方式是全部工程任务的各施工段同时开工、同时完成的一种方式。例 3－1 如果采用平行施工组织方式，其施工进度计划如图 3－3 所示。



【平行施工】

由图 3－3 可以看出，平行施工组织方式的特点是：能充分利用工作面，完成工程任务的时间最短；施工队组数成倍增加，机具设备也相应增加，同时要求材料供应集中；临时设施、仓库和堆场面积也要增加，从而造成组织安排和施工管理困难，施工管理费用增加。

平行施工一般适用于工期要求紧、大规模的建筑群及分批分期组织施工的工程任务。该方式只有在各方面的资源供应有保障的前提下才是合理的。

3. 流水施工



【流水施工】

流水施工组织方式是指所有的施工过程按一定的时间间隔依次投入，各个施工过程陆续开工、陆续竣工，使同一施工过程的施工队组保持连续、均衡施工，不同的施工过程尽可能采用平行搭接的施工组织方式。

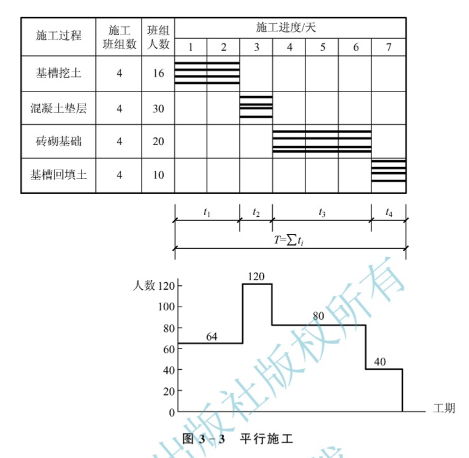


图 3－3 平行施工

例 3－1 若采用流水施工组织方式，其施工进度计划如图 3－4 所示。

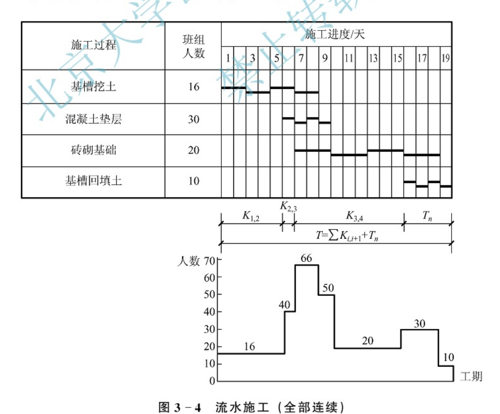


图 3－4 流水施工（全部连续）

由图 3－4 可以看出：流水施工所需的时间比依次施工短，各施工过程投入的劳动力比平行施工少；各施工队组的施工和物资的消耗具有连续性和均衡性，前后施工过程尽可

能平行搭接，比较充分地利用了施工工作面；机具、设备、临时设施等比平行施工少，可节约施工费用支出；材料等组织供应相对均匀。

但图3-4所示的流水施工组织方式还没有充分利用工作面，如第一个施工段基槽挖土，直到第三个施工段挖土后，才开始混凝土垫层施工，浪费了前两个施工段挖土完成后的工作面。为了充分利用工作面，可按图3-5所示的组织方式进行施工，工期比图3-4所示的流水施工减少了3天。其中垫层施工队组虽做间断安排，但在一个分部工程若干个施工过程的流水施工组织中，只要安排好主要的施工过程，即对工程量大、作业持续时间较长者（例3-1为基槽挖土、砖砌基础）组织它们连续、均衡地流水施工，而非主要的施工过程在有利于缩短工期的情况下可安排其间断施工，则这种组织方式仍认为是流水施工的组织方式。

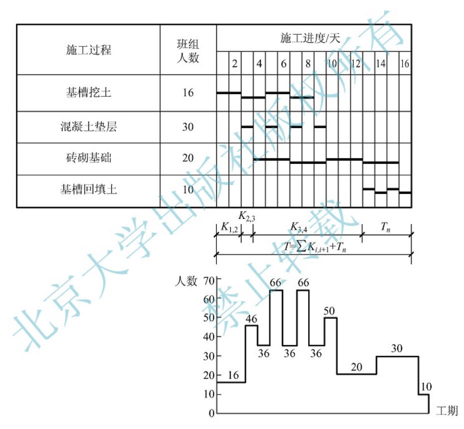


图3-5 流水施工（部分间断）

3.3 流水施工原理



【流水施工原理】

3.3.1 组织流水施工的条件

流水施工的实质是分工协作与成批生产。在社会化大生产的条件下，分工已经形成，

由于建筑产品体形庞大，通过划分施工段就可将单件产品变成假想的多件产品。组织流水施工的条件主要有以下几点。

（1）划分分部分项工程。首先将拟建工程根据工程特点及施工要求，划分为若干个分部工程，每个分部工程又根据施工工艺要求、工程量大小、施工队组的组成情况，划分为若干施工过程（即分项工程）。

（2）划分施工段。根据组织流水施工的需要，将所建工程在平面或空间上划分为工程量大致相等的若干个施工段。

（3）每个施工过程组织独立的施工队组。在一个流水组中，每个施工过程尽可能组织独立的施工队组，其形式可以是专业队组，也可以是混合队组，这样可以使每个施工队组按照施工顺序依次、连续、均衡地从一个施工段转到另一个施工段进行相同的操作。

（4）主要施工过程必须连续、均衡地施工。对工程量较大、施工时间较长的施工过程，必须组织连续、均衡的施工；对其他次要施工过程，可考虑与相邻的施工过程合并，或在有利于缩短工期的前提下安排其间断施工。

（5）不同的施工过程尽可能组织平行搭接。按照施工先后顺序要求，在有工作面的条件下，除必要的技术和组织间歇时间外，不同的施工过程应尽可能组织平行搭接。

3.3.2 流水施工的技术经济效果

流水施工是在依次施工和平行施工的基础上产生的，它既克服了依次施工和平行施工的缺点，又具有两者的优点。它保障了施工的连续性和均衡性，使各种物资资源可以均衡地使用，使施工企业的生产能力可以充分地发挥，劳动力得到合理的安排和使用，从而带来较好的技术经济效果，具体可归纳为以下几点。

（1）按专业工种建立劳动组织，实行生产专业化，有利于劳动生产率的不断提高。

（2）科学地安排施工进度，使各施工过程在保证连续施工的条件下最大限度地实现搭接，从而减少了因组织不善而造成的停工、窝工损失，合理地利用了施工的时间和空间，有效地缩短了施工工期。

（3）由于施工的连续性、均衡性，使劳动消耗、物资供应、机械设备利用等处于相对平稳状态，可充分发挥施工企业的管理水平，降低工程成本。

3.3.3 流水施工参数

由流水施工的基本概念及组织流水施工的要点和条件可知：施工过程的分解、流水段的划分、施工队组的组织、施工过程间的搭接、各流水段的作业时间等几个方面的问题是流水施工中需要解决的主要问题。只有解决好这些问题，使施工空间和时间得到合理、充分的利用，方能达到提高工程施工技术经济效果的目的。为此，流水施工基本原理中将上述问题的要害归纳为工艺、空间和时间三个参数，并称之为流水施工基本参数。

1. 工艺参数

在组织流水施工时，用以表达流水施工在施工工艺上开展顺序及其特征的参数，称为工艺参数。通常工艺参数包括施工过程数和流水强度两种。

1）施工过程数

施工过程数是指参与一组流水的施工过程数目，以符号 n 表示。

（1）制备类施工过程。

为了提高建筑产品的装配化、工厂化、机械化和生产能力而形成的施工过程，称为制备类施工过程。它一般不占施工对象的空间，不影响项目总工期，因此在项目施工进度表上不表示；只有当其占有施工对象的空间并影响项目总工期时，在项目施工进度表上才列入，如砂浆、混凝土、构配件、门窗框扇等的制备过程。

（2）运输类施工过程。

将建筑材料、构配件、（半）成品、制品和设备等运到项目工地仓库或现场操作使用地点而形成的施工过程，称为运输类施工过程。它一般不占施工对象的空间，不影响项目总工期，通常不列入施工进度计划中；只有当其占有施工对象的空间并影响项目总工期时，才被列入进度计划中。

（3）安装砌筑类施工过程。

在施工对象空间上直接进行加工，最终形成建筑产品的施工过程，称为安装砌筑类施工过程。它占有施工空间，同时影响项目总工期，必须列入施工进度计划中。

安装砌筑类施工过程按其在项目生产中的作用不同，可分为主导施工过程和穿插施工过程；按其工艺性质不同，可分为连续施工过程和间断施工过程；按其复杂程度，可分为简单施工过程和复杂施工过程。

施工过程划分的数目多少、粗细程度一般与下列因素有关。

（1）施工计划的性质与作用。

对工程施工控制性计划、长期计划，以及建筑群体、规模大、结构复杂、施工期长的工程的施工进度计划，其施工过程划分可粗些，综合性可大些，一般划分至单位工程或分部工程；对中小型单位工程及施工周期不长的工程施工实施性计划，其施工过程划分可细些、具体些，一般划分至分项工程；对月度作业性计划，有些施工过程还可分解为工序，如安装模板、绑扎钢筋等。

（2）施工方案及工程结构。

施工过程的划分与工程的施工方案及工程结构形式有关。如厂房的柱基础与设备基础挖土，如同时施工，可合并为一个施工过程；若先后施工，可分为两个施工过程。承重墙与非承重墙的砌筑也是如此。砖混结构、大墙板结构、装配式框架与现浇钢筋混凝土框架等不同结构体系，其施工过程划分及其内容也各不相同。

（3）施工队组的组织形式及劳动量大小。

施工过程的划分与施工队组的组织形式有关。如现浇钢筋混凝土结构的施工，如果是单一工种组成的施工班组，可以划分为支模板、扎钢筋、浇混凝土三个施工过程；为了组织流水施工的方便或需要，也可合并成一个施工过程，这时劳动班组的组成是多工种混合班组。施工过程的划分还与劳动量大小有关，劳动量小的施工过程，当组织流水施工有困难时，可与其他施工过程合并。如当垫层劳动量较小时，可与挖土合并为一个施工过程，这样可以使各个施工过程的劳动量大致相等，便于组织流水施工。

（4）施工过程内容和工作范围。

施工过程的划分与其内容和范围有关。直接在施工现场与工程对象上进行的劳动过

程，可以划入流水施工过程，如安装砌筑类施工过程、施工现场制备及运输类施工过程等；而场外劳动内容可以不划入流水施工过程，如部分场外制备和运输类施工过程。

综上所述，施工过程的划分既不能过多、过细，那样将给计算增添麻烦、重点不突出，也不能过少、过粗，因为那样将过于笼统，失去指导作用。

2）流水强度

流水强度是指某施工过程在单位时间内所完成的工程量，一般以 V_i 表示。

（1）施工过程的机械操作流水强度。

$$V_i = \sum_{i=1}^{x} R_i S_i \tag{3-1}$$

式中 V_i——某施工过程 i 的机械操作流水强度；

R_i——投入施工过程 i 的某种施工机械台数；

S_i——投入施工过程 i 的某种施工机械产量定额；

x——投入施工过程 i 的施工机械种类数。

（2）施工过程的人工操作流水强度。

$$V_i = R_i S_i \tag{3-2}$$

式中 R_i——投入施工过程 i 的工作队人数；

S_i——投入施工过程 i 的工作队平均产量定额；

V_i——某施工过程 i 的人工操作流水强度。

2. 空间参数

在组织流水施工时，用以表达流水施工在空间布置上所处状态的参数，称为空间参数。空间参数主要包括工作面、施工段数和施工层数。

1）工作面

某专业工种的工人在从事建筑产品施工生产过程中，所必须具备的活动空间称为工作面。它的大小是根据相应工种单位时间内的产量定额、工程操作规程和安全规程等的要求确定的。工作面确定得合理与否，直接影响到专业工种工人的劳动生产效率，对此必须认真对待。主要工种的工作面参考数据见表 3-1。

表 3-1 主要工种的工作面参考数据

工作项目	每个工种的工作面	说明
砖基础	7.6m/人	以 1.5 砖计，2 砖乘以 0.8，3 砖乘以 0.55
砌砖墙	8.5m/人	以 1 砖计，1.5 砖乘以 0.71，2 砖乘以 0.57
毛石墙基	3m/人	以 60cm 计
毛石墙	3.3m/人	以 40cm 计
混凝土柱、墙基础	$8m^3$/人	机拌、机捣
混凝土设备基础	$7m^3$/人	机拌、机捣
现浇钢筋混凝土柱	$2.45m^3$/人	机拌、机捣
现浇钢筋混凝土梁	$3.2m^3$/人	机拌、机捣
现浇钢筋混凝土墙	$5m^3$/人	机拌、机捣

续表

工 作 项 目	每个工种的工作面	说 明
现浇钢筋混凝土楼板	5.3m^3/人	机拌、机捣
预制钢筋混凝土柱	3.6m^3/人	机拌、机捣
预制钢筋混凝土梁	3.6m^3/人	机拌、机捣
预制钢筋混凝土屋架	2.7m^3/人	机拌，机捣
预制钢筋混凝土平板、空心板	1.91m^3/人	机拌、机捣
预制钢筋混凝土大型屋面板	2.62m^3/人	机拌、机捣
混凝土地坪及面层	40m^2/人	机拌、机捣
外墙抹灰	16m^2/人	
内墙抹灰	18.5m^2/人	
卷材屋面	18.5m^2/人	
防水水泥砂浆屋面	16m^2/人	
门窗安装	11m^2/人	

2）施工段数和施工层数

施工段数和施工层数是指工程对象在组织流水施工中所划分的施工区段数目。一般把平面上划分的若干个劳动量大致相等的施工区段称为施工段，用符号 m 表示；把建筑物垂直方向划分的施工区段称为施工层，用符号 r 表示。

划分施工区段的目的在于保证不同的施工队组能在不同的施工区段上同时进行施工，消灭由于不同的施工队组不能同时在一个工作面上工作而产生的互等、停歇现象，为流水作业创造条件。

划分施工段的基本要求如下。

(1) 施工段的数目要合理。施工段数过多，势必会减少每个施工段的人数，导致工作面不能充分利用，延长工期；施工段数过少，则会引起劳动力、机械和材料供应的过分集中，有时还会造成“断流”的现象。

(2) 各施工段的劳动量（或工程量）要大致相等（相差宜在15%以内），以保证各施工队组连续、均衡、有节奏地施工。

(3) 要有足够的工作面，使每一施工段所能容纳的劳动力人数或机械台数能满足合理劳动组织的要求。

(4) 要有利于结构的整体性。施工段分界线宜划在伸缩缝、沉降缝及对结构整体性影响较小的位置。

(5) 以主导施工过程为依据进行划分。如在砌体结构房屋施工中，是以砌砖、楼板安装为主导施工过程来划分施工段的，而对于整体的钢筋混凝土框架结构房屋，则是以钢筋混凝土工程作为主导施工过程来划分施工段的。

(6) 当组织流水施工的工程对象有层间关系，分层分段施工时，应使各施工队组能连续施工。即施工过程的施工队组做完第一段能立即转入第二段，施工完第一层的最后一段

后能立即转入第二层的第一段。因此每层的施工段数必须不小于其施工过程数，即

$$m \geqslant n \tag{3-3}$$

假设某三层砌体结构房屋的主体工程，施工过程划分为砌砖墙、现浇圈梁（含构造柱、楼梯）、预制楼板安装灌缝等，每个施工过程在各个施工段上施工所需要的时间均为3天，则施工段数与施工过程数之间可能有下述三种情况。

（1）当 $m=n$，即每层分三个施工段组织流水施工时，其进度安排如图3-6所示。从图3-6可以看出：各施工队组连续施工，施工段上始终有施工队组，工作面能充分利用，无停歇现象，也不会产生工人窝工现象，比较理想。

施工过程	施工进度/天										
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
砌体墙	Ⅰ-1	Ⅰ-2	Ⅰ-3	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅲ-1	Ⅲ-2	Ⅲ-3		
现浇圈梁		Ⅰ-1	Ⅰ-2	Ⅰ-3	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅲ-1	Ⅲ-2	Ⅲ-3	
预制楼板安装灌缝			Ⅰ-1	Ⅰ-2	Ⅰ-3	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅲ-1	Ⅲ-2	Ⅲ-3

图3-6　当 $m=n$ 时的进度安排（Ⅰ～Ⅲ表示楼层，1～3表示施工段）

（2）当 $m>n$，即每层分四个施工段组织流水施工时，其进度安排如图3-7所示。从图3-7可以看出：施工队组仍是连续施工，但每层楼板安装后不能立即投入砌砖，即施工段上有停歇，工作面未被充分利用。然而工作面的停歇并不一定有害，有时还是必要的，如可以利用停歇的时间做养护、备料、弹线等工作。但若施工段数目过多，必然导致工作面闲置，不利于缩短工期。

施工过程	施工进度/天													
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42
砌体墙	Ⅰ-1	Ⅰ-2	Ⅰ-3	Ⅰ-4	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4	Ⅲ-1	Ⅲ-2	Ⅲ-3	Ⅲ-4		
现浇圈梁		Ⅰ-1	Ⅰ-2	Ⅰ-3	Ⅰ-4	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4	Ⅲ-1	Ⅲ-2	Ⅲ-3	Ⅲ-4	
预制楼板安装灌缝			Ⅰ-1	Ⅰ-2	Ⅰ-3	Ⅰ-4	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4	Ⅲ-1	Ⅲ-2	Ⅲ-3	Ⅲ-4

图3-7　当 $m>n$ 时的进度安排（Ⅰ～Ⅲ表示楼层，1～4表示施工段）

（3）当 $m<n$，即每层分两个施工段组织施工时，其进度安排如图3-8所示。从图3-8可以看出：尽管施工段上未出现停歇，但施工队组不能及时进入第二层施工段施工，而轮流出现窝工现象。因此，对于一个建筑物组织流水施工是不适宜的，但在建筑群中可联系若干建筑物组织大流水作业。

施工过程	施工进度/天									
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
砌体墙	Ⅰ-1	Ⅰ-2		Ⅱ-1	Ⅱ-2		Ⅲ-1	Ⅲ-2		
现浇圈梁		Ⅰ-1	Ⅰ-2		Ⅱ-1	Ⅱ-2		Ⅲ-1	Ⅲ-2	
预制楼板安装灌缝			Ⅰ-1	Ⅰ-2		Ⅱ-1	Ⅱ-2		Ⅲ-1	Ⅲ-2

图 3-8　当 $m<n$ 时的进度安排（Ⅰ～Ⅲ表示楼层，1、2 表示施工段）

应当指出，当无层间关系或无施工层（如某些单层建筑物、基础工程等作业）时，则施工段数并不受式(3-3)的限制。

3. 时间参数

在组织流水施工时，用以表达流水施工在时间排列上所处状态的参数，称为时间参数，它包括流水节拍、流水步距、平行搭接时间、技术与组织间歇时间、工期等。

1）流水节拍

流水节拍是指从事某一施工过程的施工队组在一个施工段上完成施工任务所需的时间，用符号 t_i 表示（$i=1$，2，…）。

流水节拍的大小直接关系到投入的劳动力、机械和材料量的多少，决定着施工速度和施工的节奏，因此合理确定流水节拍具有重要的意义。流水节拍可按下列三种方法确定。

（1）定额计算法。该算法是根据各施工段的工程量和现有能够投入的资源量（劳动力、机械台数和材料量等），按式(3-4)和式(3-5)进行计算的。

$$t_i=\frac{Q_i}{S_iR_iN_i}=\frac{P_i}{R_iN_i} \tag{3-4}$$

或

$$t_i=\frac{Q_iH_i}{R_iN_i}=\frac{P_i}{R_iN_i} \tag{3-5}$$

式中　t_i——某施工过程的流水节拍；

Q_i——某施工过程在某施工段上的工程量；

S_i——某施工队组的计划产量定额；

H_i——某施工队组的计划时间定额；

P_i——在一施工段上完成某施工过程所需的劳动量（工日数）或机械台班量（台班数），按式(3-6)计算；

R_i——某施工过程的施工队组人数或机械台数；

N_i——每天工作班制。

$$P_i=\frac{Q_i}{S_i}=Q_iH_i \tag{3-6}$$

在式(3-4)和式(3-5)中，S_i 和 H_i 应是施工企业的工人或机械所能达到的实际定额水平。

假设某基础工程的人工挖土方工程量为1219m^3，施工条件为：开挖深度小于3m，三类土。根据施工条件查《建设工程劳动定额》，人工挖土方的劳动定额为0.484工日/m^3，则其劳动量为：

$$1219\times0.484=590(\text{工日})$$


【劳动定额查取】

它表示一个标准工人开挖符合这种施工条件的1219m^3土，需要590工日，如果该分部工程分为两个施工段，施工班组人数为20人，2班制作业，则流水节拍为：

$$t_i=\frac{590}{2\times2\times20}=7.375(\text{天})$$

按整数取为7天。

【例3-2】 试计算本单元典型工作任务的劳动量。

【解】 步骤如下。

(1) 将施工工艺顺序进行调整，见表3-2。

表3-2　工艺顺序调整表

<table>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th colspan="2">分部分项工程名称</th><th colspan="2">工程量</th><th rowspan="2" colspan="2">施工条件说明</th></tr>
<tr><th colspan="2">基础工程</th><th>单位</th><th>数量</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">人工挖基槽</td><td>m^3</td><td>594</td><td colspan="2">(1) 基槽底宽<1.5m，深度<3m
(2) 三类土</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">混凝土垫层</td><td>m^3</td><td>90.3</td><td colspan="2">(1) 带形混凝土垫层
(2) 商品混凝土机捣
(3) 现场地泵运送</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">砌砖基础</td><td>m^3</td><td>200.4</td><td colspan="2">上部1砖厚大放脚条形基础</td></tr>
<tr><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3">钢筋混凝土地圈梁</td><td>支模板</td><td>m^2</td><td>160</td><td>竹胶合板模板</td><td rowspan="3">(1) 圈梁尺寸240mm×240mm
(2) 纵筋4ф12</td></tr>
<tr><td>扎钢筋</td><td>t</td><td>1.5</td><td>机制手绑</td></tr>
<tr><td>浇混凝土</td><td>m^3</td><td>19.8</td><td>(1) 商品混凝土机捣
(2) 现场地泵运送</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">基础及室内回填土</td><td>m^3</td><td>428.5</td><td colspan="2">(1) 夯填
(2) 基槽底宽>0.5m</td></tr>
</table>

(2) 劳动定额查询。以人工挖基槽为例，相关条件见表3-3。

表3-3　人工挖基槽相关条件

<table>
<tr><th rowspan="2">分部分项工程名称</th><th colspan="2">工程量</th><th rowspan="2">施工条件说明</th></tr>
<tr><th>单位</th><th>数量</th></tr>
<tr><td>人工挖基槽</td><td>m^3</td><td>594</td><td>(1) 基槽底宽<1.5m，深度<3m
(2) 三类土</td></tr>
</table>

① 购买或网上查阅作业标准《建设工程劳动定额　建筑工程》(LD/T 72.1—11—2008)。

② 根据需求查阅目录，查取“建筑工程—人工土石方工程”。注意：劳动定额包括时

间定额和产量定额，本次查取的为时间定额。

《建设工程劳动定额　建筑工程》中第3.1.1条规定，本标准的劳动消耗量均以“时间定额”表示，以“工日”为单位，每一工日按8h计算。

③ 查阅“时间定额表”。根据分项工程的具体内容，查取《建设工程劳动定额　建筑工程》第5.1.2条，相关定额数据见表3－4。

表3－4　时间定额数据

定额编号		AB006	AB007	AB008	AB009	AB0010	AB0011	序号
项　目		底宽≤0.8m，深度（≤m）		底宽≤1.5m，深度（≤m）				
		1.5	3	1.5	3	4.5	6	
一类土		0.231	0.292	0.202	0.255	0.331	0.407	一
二类土		0.345	0.406	0.300	0.353	0.429	0.505	二
三类土		0.556	0.617	0.483	0.536	0.612	0.688	三
四类土		0.841	0.902	0.727	0.780	0.856	0.932	四
淤泥	砂性	1.266	1.358	1.095	1.175	1.288	1.403	五
	黏性	2.440	2.567	1.537	1.617	1.730	1.845	六

在该施工条件下，查得人工挖基槽的时间定额为0.536工日/m^3。

（3）劳动量计算。根据式(3－6)，对人工挖基槽的劳动量计算如下。

$$P_{挖槽}=Q_{挖槽}H_{挖槽}=594\times0.536=318(工日)$$

相关结果列于表3－5中。

表3－5　人工挖基槽数据

施工过程	工程量	定额编号	劳动定额	劳动量
人工挖基槽	594m^3	AB0009	0.536工日/m^3	318工日

同理，可得其他分部分项工程的数据，见表3－6。

表3－6　各分部分项工程一览表

序号	分部分项工程名称		工程量		定额编号	劳动定额	劳动量	
	基础工程		单位	数量				
1	人工挖基槽		m^3	594	AB0009	0.536工日/m^3	318工日	
2	混凝土垫层		m^3	90.3	AH0008	0.45工日/m^3	41工日	
3	砌砖基础		m^3	200.4	AD0001	0.937工日/m^3	188工日	
4	钢筋混凝土地圈梁	支模板①	m^2	160	AF0088	1.62工日/10m^2	26工日	57工日
		扎钢筋	t	1.5	AG0052	10.8工日/t	16工日	
		浇混凝土	m^3	19.8	AH0041	0.745工日/m^3	15工日	
5	基础及室内回填土		m^3	428.5	AB0087	0.182工日/m^3	78工日	

① 基础部分的圈梁（地腰箍），按不带底板基础梁标准执行。

（2）经验估算法。即根据以往的施工经验进行估算。一般为了提高其准确程度，往往先估算出该流水节拍的最长、最短和最可能三种时间，然后据此求出期望时间作为某施工队组在某施工段上的流水节拍。因此本法也称为三种时间估算法，其计算公式为：

$$t_i=\frac{a+4c+b}{6} \tag{3-7}$$

式中　t_i——某施工过程在某施工段上的流水节拍；

a——某施工过程在某施工段上的最短估算时间；

b——某施工过程在某施工段上的最长估算时间；

c——某施工过程在某施工段上的最可能估算时间。

这种方法多适用于采用新工艺、新方法和新材料等没有定额可循的工程。

(3) 工期计算法。对某些施工任务在规定日期内必须完成的工程项目，往往采用倒排进度法，即根据工期要求先确定流水节拍，然后应用式(3-4)和式(3-5)求出所需的施工队组人数或机械台数。但在这种情况下，首先必须检查劳动力和机械供应的可能性，看物资供应等能否与之相适应。其具体步骤如下。

① 根据工期倒排进度，确定某施工过程的工作延续时间。

② 确定某施工过程在某施工段上的流水节拍。若同一施工过程的流水节拍不等，可用估算法；若流水节拍相等，则按式(3-8)计算。

$$t_i=\frac{T_i}{m} \tag{3-8}$$

式中　t_i——某施工过程的流水节拍；

T_i——某施工过程的工作持续时间；

m——施工段数。

确定流水节拍应考虑的因素如下。

(1) 施工队组人数应符合该施工过程最小劳动组合人数的要求。所谓最小劳动组合，就是指某一施工过程进行正常施工所必需的最低限度的队组人数及其合理组合。如模板安装就要按技工和普工的最少人数及合理比例组成施工队组，人数过少或比例不当都将引起劳动生产率的下降，甚至无法施工。

(2) 要考虑工作面的大小或某种条件的限制。施工队组人数也不能太多，每个工人的工作面要符合最小工作面的要求，否则就不能发挥正常的施工效率，或不利于安全生产。

(3) 要考虑各种机械台班的效率或机械台班产量的大小。

(4) 要考虑各种材料、构配件等施工现场堆放量、供应能力及其他有关条件的制约。

(5) 要考虑施工及技术条件的要求。如浇筑混凝土时，为了连续施工，有时要按照三班制工作的条件决定流水节拍，以确保工程质量。

(6) 确定一个分部工程各施工过程的流水节拍时，首先应考虑主要的、工程量大的施工过程的节拍，其次确定其他施工过程的节拍。

(7) 节拍值一般取整数，必要时可保留 0.5 天（台班）的小数值。

2) 流水步距

流水步距是指两个相邻的施工过程的施工队组相继进入同一施工段开始施工的最小时间间隔（不包括技术与组织间歇时间），用符号 $K_{i,i+1}$ 表示（i 表示前一个施工过程，$i+1$ 表示后一个施工过程）。

流水步距的大小，对工期有着较大的影响。一般说来，在施工段不变的条件下，流水

步距越大，工期越长；流水步距越小，工期越短。流水步距还与前后两个相邻施工过程流水节拍的大小、施工工艺技术要求、施工段数目、流水施工的组织方式有关。

流水步距的数目等于 $n-1$，其中 n 为参加流水施工的施工过程（队组）数。

（1）确定流水步距的基本要求如下。

① 主要施工队组连续施工的需要。流水步距的最小长度，必须使主要施工专业队组进场以后，不发生停工、窝工现象。

② 施工工艺的要求。保证每个施工段的正常作业程序，不发生前一个施工过程尚未全部完成，而后一施工过程提前介入的现象。

③ 最大限度搭接的要求。流水步距要保证相邻两个专业队在开工时间上最大限度地、合理地搭接。

④ 要保证工程质量，满足安全生产、成品保护的需要。

（2）确定流水步距的方法。确定流水步距的方法很多，简捷、实用的方法主要有图上分析法、分析计算法（公式法）和累加数列法（潘特考夫斯基法）。分析计算法见本章相关内容，而累加数列法适用于各种形式的流水施工，且较为简捷、准确。


【流水步距求解的通用方法】

累加数列法没有计算公式，它的文字陈述是“累加数列错位相减取大差”，其计算步骤如下。

① 将每个施工过程的流水节拍逐段累加，求出累加数列。

② 根据施工顺序，对相邻的两累加数列错位相减。

③ 根据错位相减的结果，确定相邻施工队组之间的流水步距，即相减结果中数值最大者。

【例 3－3】 某项目由土方开挖、基础施工、主体结构、二次砌筑、装饰装修五个施工过程组成，分别由四个专业工作队完成，在平面上划分成四个施工段，每个施工过程在各个施工段上的流水节拍见表 3－7。试确定相邻专业工作队之间的流水步距。

表 3－7 某工程流水节拍

施工过程	施工段			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
土方开挖	2	2	3	2
基础施工	3	2	2	3
主体结构	5	6	6	4
二次砌筑	2	4	3	2
装饰装修	2	3	3	2

【解】（1）求流水节拍的累加数列。

土方开挖：2，4，7，9

基础施工：3，5，7，10

主体结构：5，11，17，21

二次砌筑：2，6，9，11

装饰装修：2，5，8，10

(2) 错位相减。

土方开挖与基础施工：

$$\begin{array}{rrrrrr} & 2, & 4, & 7, & 9 & \\ -) & & 3, & 5, & 7, & 10 \\ \hline & 2, & 1, & 2, & 2, & -10 \end{array}$$

基础施工与主体结构：

$$\begin{array}{rrrrrr} & 3, & 5, & 7, & 10 & \\ -) & & 5, & 11, & 17, & 21 \\ \hline & 3, & 0, & -4, & -7, & -21 \end{array}$$

主体结构与二次砌筑：

$$\begin{array}{rrrrrr} & 5, & 11, & 17, & 21 & \\ -) & & 2, & 6, & 9, & 11 \\ \hline & 5, & 9, & 11, & 12, & -11 \end{array}$$

二次砌筑与装饰装修：

$$\begin{array}{rrrrrr} & 2, & 6, & 9, & 11 & \\ -) & & 2, & 5, & 8, & 10 \\ \hline & 2, & 4, & 4, & 3, & -10 \end{array}$$

(3) 确定流水步距。因流水步距等于错位相减所得结果中数值最大者，故有

$$K_{土,基}=\max\{2,1,2,2,-10\}=2(天)$$
$$K_{基,主}=\max\{3,0,-4,-7,-21\}=3(天)$$
$$K_{主,砌}=\max\{5,9,11,12,-11\}=12(天)$$
$$K_{砌,装}=\max\{2,4,4,3,-10\}=4(天)$$

3) 平行搭接时间

在组织流水施工时，有时为了缩短工期，在工作面允许的条件下，如果前一个施工队组完成部分施工任务后，能够提前为后一个施工队组提供工作面，使后者提前进入前一个施工段，两者在同一施工段上平行搭接施工，则这个搭接时间称为平行搭接时间，通常以$C_{i,i+1}$表示。

4) 技术与组织间歇时间

在组织流水施工时，有些施工过程完成后，后续施工过程不能立即投入，必须有足够的间歇时间。由建筑材料或现浇构件工艺性质决定的间歇时间称为技术间歇，如现浇混凝土构件的养护时间、抹灰层的干燥时间、油漆层的干燥时间等；由施工组织原因造成的间歇时间称为组织间歇，如回填土前地下管道的检查验收、施工机械的转移、砌筑墙体前的墙身位置弹线及其他作业前的准备工作。技术与组织间歇时间用$Z_{i,i+1}$表示。

5) 工期

工期是指完成一项工程任务或一个流水组施工所需的时间，一般可采用式(3-9)计算完成一个流水组施工的工期。

$$T=\sum K_{i,i+1}+T_n+\sum Z_{i,i+1}-\sum C_{i,i+1} \tag{3-9}$$

式中 T——流水施工工期；

$\sum K_{i,i+1}$——流水施工中各流水步距之和；

T_n——流水施工中最后一个施工过程的持续时间；
$Z_{i,i+1}$——第 i 个施工过程与第 $i+1$ 个施工过程之间的技术与组织间歇时间；
$C_{i,i+1}$——第 i 个施工过程与第 $i+1$ 个施工过程之间的平行搭接时间。

3.3.4 施工进度计划横道图的绘制

流水施工主要以横道图方式表示，横坐标表示流水施工的持续时间，纵坐标表示施工过程的名称或编号。带有编号的水平线段表示各施工过程或专业工作队的施工进度安排，其编号①、②…表示不同的施工段。图 3-4 所示即为用横道图表示的各施工过程的开工时间和完成时间、施工过程的持续时间、施工过程之间的相互搭接关系，以及整个施工项目的开工时间、完工时间和总工期。

横道图表示法的优点是：绘图简单，施工过程及其先后顺序表达清楚，时间和空间状况形象直观、使用方便，因而被广泛用来表达施工进度计划。

横道图的绘制方法是：首先绘制时间坐标进度表，根据有关计算，直接在进度表上画出进度线，进度线的水平长度即为施工过程的持续时间。一般先安排主导施工过程的施工进度，然后再安排其余施工过程，尽可能配合主导施工过程且最大限度地搭接，以形成施工进度计划的初步方案。

3.4 流水施工的组织方式

3.4.1 流水施工的基本组织方式

1. 流水施工的分级

根据组织流水施工的工程对象的范围大小，流水施工通常可分为以下几种。

(1) 分项工程流水施工。也称细部流水施工，是在一个施工过程内部组织起来的流水施工，如砌砖墙施工过程的流水施工、现浇钢筋混凝土施工过程的流水施工等。分项工程流水施工是组织工程流水施工中范围最小的流水施工。

(2) 分部工程流水施工。也称专业流水施工，是在一个分部工程内部、各分项工程之间组织起来的流水施工，如基础工程的流水施工、主体工程的流水施工、装饰工程的流水施工等。分部工程流水施工是组织单位工程流水施工的基础。

(3) 单位工程流水施工。也称综合流水施工，是在一个单位工程内部、各分部工程之间组织起来的流水施工，如一幢办公楼、一个厂房车间等组织的流水施工。单位工程流水施工是分部工程流水施工的扩大和组合，建立在分部工程流水施工基础之上。

(4) 群体工程流水施工。也称大流水施工，是在各单位工程之间组织起来的流水施工。它是为完成工业或民用建筑群而组织起来的全部单位工程流水施工的总和。

2. 流水施工的基本组织方式分类

建筑工程的流水施工要求有一定的节拍，才能步调和谐、配合得当。流水施工的节奏是由节拍所决定的，但由于建筑工程的多样性，各分部分项的工程量差异较大，要使所有的流水施工都组织成统一的流水节拍是很困难的。在大多数的情况下，各施工过程的流水节拍不一定相等，甚至一个施工过程本身在各施工段上的流水节拍也不相等，因此形成了不同节奏特征的流水施工。

根据流水施工节奏特征的不同，流水施工的基本组织方式可分为有节奏流水施工和无节奏流水施工两大类，有节奏流水施工又可分为等节奏流水施工和异节奏流水施工，如图 3－9 所示。

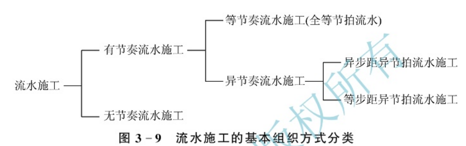


图 3－9　流水施工的基本组织方式分类

3.4.2 等节奏流水施工

等节奏流水施工是指同一施工过程在各施工段上的流水节拍都相等，并且不同施工过程之间的流水节拍也相等的一种流水施工方式。即各施工过程的流水节拍均为常数，故也称全等节拍流水施工或固定节拍流水施工。

例如，某工程划分为基础 A、结构安装 B、室内装修 C、室外工程 D 四个施工过程，每个施工过程分为四个施工段，流水节拍均为 2 天，组织等节奏流水施工，其进度计划安排如图 3－10 所示。

施工过程	施工进度/天													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A														
B														
C														
D														

图 3－10　等节奏流水施工进度计划

1. 等节奏流水施工的特征

（1）各施工过程在各施工段上的流水节拍彼此相等。如有 n 个施工过程，流水节拍为 t_i，则 $t_1=t_2=\cdots=t_{n-1}=t_n$，即 $t_i=t$（常数）。

(2) 流水步距彼此相等，而且等于流水节拍值，即

$$K_{1,2}=K_{2,3}=\cdots=K_{n-1,n}=K=t$$

(3) 各专业工作队在各施工段上能够连续作业，施工段之间没有空闲时间。

(4) 施工班组数 n_1 等于施工过程数 n。

2. 等节奏流水施工主要参数的确定

(1) 等节奏流水施工段数 m 的确定。

① 无层间关系时，施工段数 m 按划分施工段的基本要求确定即可。

② 有层间关系时，为了保证各施工队组连续施工，应取 $m \geqslant n$。此时，每层施工段空闲数为 $m-n$，一个空闲施工段的时间为 t，则每层的空闲时间为

$$(m-n)t=(m-n)K$$

若一个楼层内各施工过程间的技术与组织间歇时间之和为 $\sum Z_1$，楼层间技术与组织间歇时间为 Z_2，每层的 $\sum Z_1$ 均相等，Z_2 也相等，则保证各施工队组能连续施工的最小施工段数 m 的确定公式如下。

$$(m-n)K=\sum Z_1+Z_2-\sum C_1$$

$$m=n+\frac{\sum Z_1}{K}+\frac{Z_2}{K}-\frac{\sum C_1}{K} \tag{3-10}$$

式中　m——施工段数；

n——施工过程数；

$\sum Z_1$——一个楼层内各施工过程间技术与组织间歇时间之和；

Z_2——楼层间技术与组织间歇时间；

$\sum C_1$——同一施工层中平行搭接时间之和；

K——流水步距。

(2) 流水施工工期的计算。

① 不分施工层时，工期可按式(3-11)进行计算。因为

$$\sum K_{i,i+1}=(n-1)t$$

$$T_n=mt$$

代入式(3-9)可得

$$\begin{aligned}T&=(n-1)t+mt+\sum Z_{i,i+1}-\sum C_{i,i+1}\\&=(m+n-1)t+\sum Z_{i,i+1}-\sum C_{i,i+1}\end{aligned} \tag{3-11}$$

式中　T——流水施工总工期；

m——施工段数；

n——施工过程数；

t——流水节拍；

$\sum Z_{i,i+1}$——$i,i+1$ 两施工过程之间的技术与组织间歇时间；

$\sum C_{i,i+1}$——$i,i+1$ 两施工过程之间的平行搭接时间。

② 区分施工层时，可按式(3－12)进行计算。

$$T=(mr+n-1)t+\sum Z_1-\sum C_1 \tag{3-12}$$

式中　r——施工层数；

$\sum Z_1$——同一施工层中技术与组织间歇时间之和；

$\sum C_1$——同一施工层中平行搭接时间之和；

其他符号含义同前。

3. 等节奏流水施工的组织

等节奏流水施工的组织方法是：首先划分施工过程，应将劳动量小的施工过程合并到相邻施工过程中去，以使各流水节拍相等；其次确定主要施工过程的施工队组人数，计算其流水节拍；最后根据已定的流水节拍，确定其他施工过程的施工队组人数及其组成。

等节奏流水施工一般适用于工程规模较小、建筑结构比较简单、施工过程不多的房屋或某些构筑物，常用于组织一个分部工程的流水施工。

4. 等节奏流水施工案例

【例 3－4】某分部工程划分为土方开挖 A、混凝土垫层 B、混凝土基础 C、回填土 D 四个施工过程，每个施工过程分三个施工段，各施工过程的流水节拍均为 4 天，试组织等节奏流水施工。

【解】(1) 确定流水步距。由等节奏流水的特征可知 $K=t=4$ 天。

(2) 计算工期。

$$T=(m+n-1)t=(3+4-1)\times 4=24(\text{天})$$

(3) 用横道图绘制流水进度计划，如图 3－11 所示。

施工过程	施工进度/天																							
		2		4		6		8		10		12		14		16		18		20		22		24
A																								
B																								
C																								
D																								

$\sum K_{i,i+1}=(n-1)k$　　$T_n=mt$

$T=(m+n-1)t$

图 3－11　某分部工程无间歇等节奏流水施工进度计划

【例 3－5】某主体工程由现浇柱 A、现浇梁板 B、拆模 C、砌砖墙 D 四个施工过程组成，划分两个施工层组织流水施工，各施工过程的流水节拍均为 2 天，其中施工过程 B 与 C 之间有 2 天的技术间歇时间，层间技术间歇为 2 天。为了保证施工队组连续作业，试确定施工段数和流水工期，并绘制流水施工进度表。

【解】(1) 确定流水步距。由等节奏流水的特征可知

$$K_{A,B}=K_{B,C}=K_{C,D}=K=2\text{ 天}$$

(2) 确定施工段数。本工程分两个施工层，由式(3-10) 可得

$$m=n+\frac{\sum Z_1}{K}+\frac{Z_2}{K}-\frac{\sum C_1}{K}=4+\frac{2}{2}+\frac{2}{2}-0=6(\text{段})$$

(3)计算流水工期。由式(3-12)可得

$$T=(mr+n-1)t+\sum Z_1-\sum C_1=(6\times2+4-1)\times2+2-0=32(\text{天})$$

(4) 绘制流水施工进度表，如图 3-12 所示。

施工过程	施工进度/天															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
A	1	2	3	4	5	6	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4	Ⅱ-5	Ⅱ-6				
B		1	2	3	4	5	6	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4	Ⅱ-5	Ⅱ-6			
C				1	2	3	4	5	6	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4	Ⅱ-5	Ⅱ-6	
D					1	2	3	4	5	6	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4	Ⅱ-5	Ⅱ-6

$K_{A,B}$　$K_{B,C}$　$Z_{B,C}$　$K_{C,D}$　$T_n=mrt$

$T=(mr+n-1)t+\sum Z_{i,i+1}$

图 3-12　某工程分层并有间歇等节奏流水施工进度计划（施工层横向排列）

3.4.3 异节奏流水施工

异节奏流水施工是指同一施工过程在各施工段上的流水节拍都相等，不同施工过程之间的流水节拍不一定相等的流水施工方式。异节奏流水又可分为异步距异节拍流水施工和等步距异节拍流水施工两种。

1. 异步距异节拍流水施工

1) 异步距异节拍流水施工的特征

(1) 同一施工过程流水节拍相等，不同施工过程之间的流水节拍不一定相等。

(2) 各个施工过程之间的流水步距不一定相等。

(3) 各施工工作队能够在施工段上连续作业，但有的施工段之间可能有空闲。

(4) 施工班组数 n_1 等于施工过程数 n。

2) 异步距异节拍流水施工主要参数的确定

(1) 流水步距。

$$K_{i,i+1}=\begin{cases}t_i & (\text{当 } t_i\leqslant t_{i+1})\\ mt_i-(m-1)t_{i+1} & (\text{当 } t_i>t_{i+1})\end{cases}\tag{3-13}$$

式中　t_i——第 i 个施工过程的流水节拍；

t_{i+1}——第 $i+1$ 个施工过程的流水节拍。

流水步距也可由前述“累加数列法”求得。

（2）流水施工工期 T。

$$T=\sum K_{i,i+1}+mt_n+\sum Z_{i,i+1}-\sum C_{i,i+1} \qquad (3-14)$$

式中　t_n——最后一个施工过程的流水节拍；

其他符号含义同前。

3）异步距异节拍流水施工的组织

组织异步距异节拍流水施工的基本要求是：各施工队组尽可能依次在各施工段上连续施工，允许有些施工段出现空闲，但不允许多个施工班组在同一施工段交叉作业，更不允许发生工艺顺序颠倒的现象。

异步距异节拍流水施工适用于施工段大小相等的分部工程和单位工程的流水施工，它在进度安排上比等节奏流水施工灵活，实际应用范围较广。

4）异步距异节拍流水施工案例

【例 3－6】某工程划分为人工开挖土方 A、混凝土垫层 B、钢筋混凝土基础 C、基础回填土 D 四个施工过程，分三个施工段组织施工，各施工过程的流水节拍分别为 $t_A=3$ 天、$t_B=4$ 天、$t_C=5$ 天、$t_D=3$ 天；施工过程 B 完成后有 2 天的技术间歇时间，施工过程 D 与施工过程 C 搭接 1 天。试求各施工过程之间的流水步距及该工程的工期，并绘制流水施工进度表。

【解】（1）确定流水步距。根据已知条件及式(3－13)，各流水步距计算如下。

因为 $t_A<t_B$，所以 $K_{A,B}=t_A=3$ 天

因为 $t_B<t_C$，所以 $K_{B,C}=t_B=4$ 天

因为 $t_C>t_D$，所以 $K_{C,D}=mt_C-(m-1)t_D=3\times5-(3-1)\times3=9$(天)

（2）计算流水工期。由式(3－14) 得

$$T=\sum K_{i,i+1}+mt_n+\sum Z_{i,i+1}-\sum C_{i,i+1}=(3+4+9)+3\times3+2-1=26(\text{天})$$

（3）绘制施工进度计划表，如图 3－13 所示。

施工过程	施工进度/天																									
		2		4		6		8		10		12		14		16		18		20		22		24		26
A																										
B																										
C																										
D																										

$K_{A,B}$　$K_{B,C}$　$Z_{B,C}$　$K_{C,D}-C_{C,D}$　$T_n=mt_n$

$T=\sum K_{i,i+1}+mt_n+\sum Z_{i,i+1}-\sum C_{i,i+1}$

图 3－13　某工程异步距异节拍流水施工进度计划

2. 等步距异节拍流水施工

等步距异节拍流水施工也称成倍节拍流水，是指同一施工过程在各个施工段上的流水节拍相等，不同施工过程之间的流水节拍不完全相等，但各个施工过程的流水节拍之间存在一个最大公约数。为加快流水施工进度，可按最大公约数的倍数组建每个施工过程的施工队组，以形成类似于等节奏流水的等步距异节奏流水施工方式。

1）等步距异节拍流水施工的特征

（1）同一施工过程流水节拍相等，不同施工过程流水节拍之间存在整数倍或公约数关系。

（2）流水步距彼此相等，且等于流水节拍的最大公约数。

（3）各专业施工队都能够保证连续作业，施工段没有空闲。

（4）施工队组数 n_1 大于施工过程数 n，即 $n_1>n$。

2）等步距异节拍流水施工主要参数的确定

（1）流水步距。

$$K_{i,i+1}=K_b \tag{3-15}$$

（2）每个施工过程的施工队组数。

$$b_i=\frac{t_i}{K_b} \tag{3-16}$$

$$n_1=\sum b_i \tag{3-17}$$

式中 b_i——某施工过程所需施工队组数；

n_1——专业施工队组总数目；

K_b——流水节拍的最大公约数；

其他符号含义同前。

（3）施工段数 m 的确定。

① 无层间关系时，可按划分施工段的基本要求确定施工段数 m，一般取 $m=n_1$。

② 有层间关系时，每层最少施工段数可按式(3-18)确定。

$$m=n_1+\frac{\sum Z_1}{K_b}+\frac{Z_2}{K_b} \tag{3-18}$$

式中 $\sum Z_1$——一个楼层内各施工过程间的技术与组织间歇时间；

Z_2——楼层间的技术与组织间歇时间；

其他符号含义同前。

（4）流水施工工期 T 的确定。

① 无层间关系时，有

$$T=(m+n_1-1)K_b+\sum Z_{i,i+1}-\sum C_{i,i+1} \tag{3-19}$$

② 有层间关系时，有

$$T=(mr+n_1-1)K_b+\sum Z_1-\sum C_1 \tag{3-20}$$

式中 r——施工层数；

其他符号含义同前。

3）等步距异节拍流水施工的组织

等步距异节拍流水施工的组织方法是：首先根据工程对象和施工要求，划分若干个施工过程；然后根据各施工过程的内容、要求及其工程量，计算每个施工段所需的劳动量；接着根据施工队组人数及组成，确定劳动量最少的施工过程的流水节拍；最后确定其他劳动量较大的施工过程的流水节拍，用调整施工队组人数或其他技术组织措施的方法，使它们的流水节拍值之间存在一个最大公约数。

等步距异节拍流水施工方式比较适用于线形工程（如道路、管道等）的施工，也适用于房屋建筑施工。

4）等步距异节拍流水施工案例

【例 3-7】 某分部工程由支模板 A、绑扎钢筋 B、浇筑混凝土 C 三个施工过程组成，分为六个施工段施工，流水节拍分别为 $t_A=6$ 天、$t_B=4$ 天、$t_C=2$ 天，试组织等步距异节拍流水施工，并绘制流水施工进度表。

【解】（1）按式(3-15)确定流水步距。

$$K=K_b=2\text{ 天}$$

（2）按式(3-16)确定每个施工过程的施工队组数。

$$b_A=\frac{t_A}{K_b}=\frac{6}{2}=3(\text{个})$$

$$b_B=\frac{t_B}{K_b}=\frac{4}{2}=2(\text{个})$$

$$b_C=\frac{t_C}{K_b}=\frac{2}{2}=1(\text{个})$$

则施工队组总数为

$$n_1=\sum b_i=3+2+1=6(\text{个})$$

（3）计算工期。由式(3-19)得

$$T=(m+n_1-1)K_b=(6+6-1)\times 2=22(\text{天})$$

（4）绘制流水施工进度表，如图 3-14 所示。

施工过程	工作队	施工进度/天																					
			2		4		6		8		10		12		14		16		18		20		22
A	Ⅰa				1						4												
	Ⅰb					2						5											
	Ⅰc							3						6									
B	Ⅱa									1				3				5					
	Ⅱb											2				4				6			
C	Ⅲ												1		2		3		4		5		6

$(n_1-1)K_b$　　mK_b

$T=(m+n_1-1)K_b$

图 3-14　某工程等步距异节拍流水施工进度计划

3.4.4 无节奏流水施工

无节奏流水施工，是指同一施工过程在各个施工段上流水节拍不完全相等的一种流水施工方式。

在实际工程中，通常每个施工过程在各个施工段上的工程量彼此不等，各专业施工队组的生产效率相差较大，导致大多数的流水节拍也彼此不相等，因此有节奏流水施工尤其是等节奏流水施工和等步距异节拍流水施工往往是难以组织的。而无节奏流水施工则是利用流水施工的基本概念，在保证施工工艺、满足施工顺序要求的前提下，按照一定的计算方法，确定相邻专业施工队组之间的流水步距，使其在开工时间上最大限度地、合理地搭接起来，形成每个专业施工队组都能连续作业的流水施工方式。它是流水施工的普遍形式。

1. 无节奏流水施工的特征

（1）每个施工过程在各个施工段上的流水节拍不尽相等。

（2）各个施工过程之间的流水步距不完全相等且差异较大。

（3）各施工作业队能够在施工段上连续作业，但有的施工段之间可能有空闲时间。

（4）施工队组数 n_1 等于施工过程数 n。

2. 无节奏流水施工主要参数的确定

（1）流水步距的确定。无节奏流水步距通常采用“累加数列法”确定。

（2）流水施工工期。

$$T = \sum K_{i,i+1} + \sum t_n + \sum Z_{i,i+1} - \sum C_{i,i+1} \qquad (3-21)$$

式中 $\sum K_{i,i+1}$ ——流水步距之和；

$\sum t_n$ ——最后一个施工过程的流水节拍之和；

其他符号含义同前。

3. 无节奏流水施工的组织

无节奏流水施工的实质是：各工作队连续作业，流水步距经计算确定，使专业工作队之间在一个施工段内不相互干扰（不超前，但可能滞后），或做到前后工作队之间工作紧密衔接。因此，组织无节奏流水施工的关键就是正确计算流水步距。组织无节奏流水施工的基本要求与异步距异节拍流水施工相同，即要保证各施工过程的工艺顺序合理和各施工队组尽可能依次在各施工段上连续施工。

无节奏流水施工不像有节奏流水施工那样有一定的时间规律约束，在进度安排上比较灵活、自由，适用于分部工程、单位工程及大型建筑群的流水施工，实际运用比较广泛。

4. 无节奏流水施工案例

【例 3－8】 某工程有机械开挖土方 A、混凝土垫层 B、钢筋混凝土基础 C、钢筋混凝土独立基础梁 D、基础回填土 E 五个施工过程，平面上划分成四个施工段，每个施工过程

在各个施工段上的流水节拍见表 3－8。规定 B 完成后有 2 天的技术间歇时间，D 完成后有 1 天的组织间歇时间，A 与 B 之间有 1 天的平行搭接时间。试编制该工程的流水施工方案，并绘制流水施工进度表。

表 3－8　某工程流水节拍

施工过程	施工段			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
A	3	2	2	4
B	1	3	5	3
C	2	1	3	5
D	4	2	3	3
E	3	4	2	1

【解】根据题设条件，该工程只能组织无节奏流水施工。

(1) 求流水节拍的累加数列。

A：3，5，7，11

B：1，4，9，12

C：2，3，6，11

D：4，6，9，12

E：3，7，9，10

(2) 确定流水步距。

① 求 $K_{A,B}$。

$$\begin{array}{rrrrrr} & 3, & 5, & 7, & 11 & \\ -) & & 1, & 4, & 9, & 12 \\ \hline & 3, & 4, & 3, & 2, & -12 \end{array}$$

故得 $K_{A,B}=4$ 天。

② 求 $K_{B,C}$。

$$\begin{array}{rrrrrr} & 1, & 4, & 9, & 12 & \\ -) & & 2, & 3, & 6, & 11 \\ \hline & 1, & 2, & 6, & 6, & -11 \end{array}$$

故得 $K_{B,C}=6$ 天。

③ 求 $K_{C,D}$。

$$\begin{array}{rrrrrr} & 2, & 3, & 6, & 11 & \\ -) & & 4, & 6, & 9, & 12 \\ \hline & 2, & -1, & 0, & 2, & -12 \end{array}$$

故得 $K_{C,D}=2$ 天。

④ 求 $K_{D,E}$。

$$
\begin{array}{rrrrrr}
 & 4, & 6, & 9, & 12 & \\
-) & & 3, & 7, & 9, & 10 \\
\hline
 & 4, & 3, & 2, & 3, & -10
\end{array}
$$

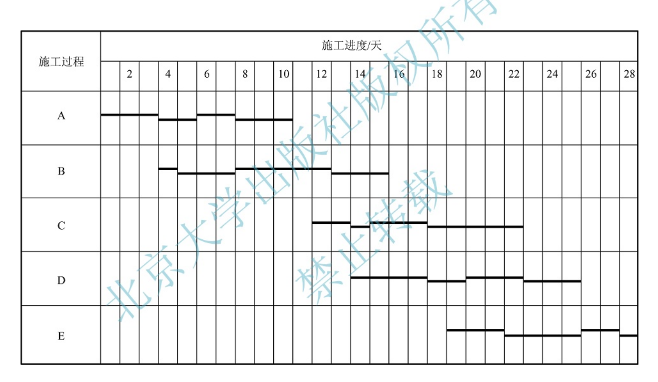
故得 $K_{D,E}=4$ 天。

(3) 确定流水工期。

$$T=\sum K_{i,i+1}+\sum t_n+\sum Z_{i,i+1}-\sum C_{i,i+1}$$

$$=(4+6+2+4)+(3+4+2+1)+2+1-1=28(天)$$

(4) 绘制流水施工进度表，如图 3-15 所示。



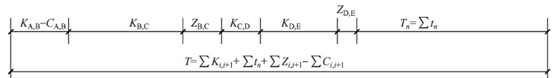


图 3-15　某工程无节奏流水施工进度计划

【例 3-9】 绘制本单元典型工作任务的横道图进度计划。

例 3-2 中已经完成其施工工艺顺序的调整及各分项工程劳动量的计算。在此基础上完成例 3-9 的任务。

(1) 划分施工段。为组织流水施工，根据组织流水施工的需要，需要对本任务划分施工段。

在基础工程施工中，平均划分为两个施工段，即 $m=2$。

（2）确定每个施工段上的劳动量。每个施工段上的劳动量 $P_i=\frac{P_{总}}{m}$。以人工挖基槽为例，因为划分为两个施工段，则 $P_i=\frac{318}{2}=159$(工日)，故其每个施工段上的劳动量为 159 工日。其他类似。

（3）确定工作班制。本任务中的每个施工过程全部采用一班制施工，即 $N_i=1$。

（4）确定施工队伍人数。

按照工作面及实际需求，给每个施工过程的施工队伍安排人数。如人工挖基槽的施工队伍安排 23 人。

（5）计算流水节拍。根据式(3－4)，$t_i=\frac{P_i}{R_iN_i}$。由此可算得人工挖基槽的流水节拍为 7 天。其他类似。

（6）列表汇总。上述计算全部结果见表 3－9。

表 3－9　计算结果汇总

序号	分部分项工程名称	劳动量 $P_{总}$	施工段数 m	每段劳动量 P_i	工作班制 N_i	队伍人数 R_i	流水节拍 t_i
	基础工程						
1	人工挖基槽	318 工日	2	159 工日	1	23	7
2	混凝土垫层	41 工日	2	20.5 工日	1	7	3
3	砌砖基础	188 工日	2	94 工日	1	14	7
4	钢筋混凝土地圈梁	57 工日	2	28.5 工日	1	5	7
5	基础及室内回填土	78 工日	2	39 工日	1	10	4

另外，在混凝土垫层完成后，安排间歇时间 2 天进行养护；钢筋混凝土地圈梁完成后，安排间歇时间 3 天进行养护。

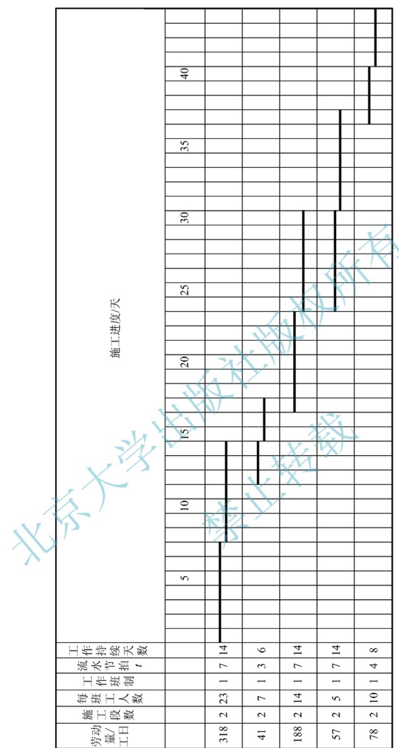
（7）计算流水步距。根据式(3－13)确定流水步距得

$$K_{1,2}=11\text{ 天},\quad K_{2,3}=3\text{ 天},\quad K_{3,4}=7\text{ 天},\quad K_{4,5}=10\text{ 天}$$

根据式(3－14)确定工期得

$$\begin{aligned} T &= \sum K_{i,i+1}+mt_n+\sum Z_{i,i+1}-\sum C_{i,i+1} \\ &=(11+3+7+10)+2\times4+(2+3)-0 \\ &=44(\text{天}) \end{aligned}$$

（8）绘制横道图进度计划，如图 3-16 所示。



序号	分部分项工程名称	劳动量/工日	施工段数	每班工人数	工作班制	流水节拍 t	工作持续天数	施工进度/天
	基础工程							5 10 15 20 25 30 35 40
1	人工挖基槽	318	2	23	1	7	14	
2	混凝土垫层	41	2	7	1	3	6	
3	砌砖基础	188	2	14	1	7	14	
4	钢筋混凝土地圈梁	57	2	5	1	7	14	
5	基础及室内回填土	78	2	10	1	4	8	

图3-16　本单元典型工作任务横道图进度计划

【案例】流水施工实例

在建筑施工中需要许多施工过程，在组织这些施工过程的活动中，我们把在施工工艺上互相联系的施工过程组成不同的专业组合（如基础工程、主体工程及装饰工程等），然后按其组合的施工过程的流水节拍特征（节奏性），分别组织成独立的流水组进行流水作业，这些流水组的流水参数可以是不相等的，组织流水的方式也可能有所不同。最后将这些流水组按照工艺要求和施工顺序依次搭接起来，即成为一个工程对象的工程流水或一个建筑群的流水施工。需要指出的是，所谓专业组合是指围绕主导施工过程的组合，其他的施工过程不必都纳入流水组，而只作为调剂项目与各流水组依次搭接。在更多情况下，考虑到工程的复杂性，在编制施工进度计划时，往往只运用流水作业的基本概念，合理选定几个主要参数，保证几个主导施工过程的连续性；对其他非主导施工过程，只力求使其在施工段上尽可能各自保持连续施工。各施工过程之间只有施工工艺和施工组织上的约束，不一定步调一致。这样，对不同专业组合或几个主导施工过程进行分别流水的组织方式就有极大的灵活性，且往往更有利于计划的实现。下面用几个较为常见的工程施工实例来阐述流水施工的应用。

【例 3－10】框架结构房屋的流水施工。某四层学生公寓，底层为商业用房，上部为学生宿舍，建筑面积为 3277.96m^2。基础为钢筋混凝土独立基础，主体工程为全现浇框架结构。装饰工程为铝合金窗、胶合板门；外墙贴面砖；内墙为中级抹灰，普通涂料刷白；底层顶棚吊顶，楼地面贴地板砖；屋面用 200mm 厚加气混凝土块做保温层，上做 SBS 改性沥青防水层。其劳动量见表 3－10。

表 3－10　某四层学生公寓劳动量一览表

序　号	分项工程名称	劳　动　量
	基础工程	
1	机械开挖土方	6 台班
2	混凝土垫层	30 工日
3	绑扎基础钢筋	59 工日
4	支设基础模板	73 工日
5	浇筑基础混凝土	87 工日
6	回填土	150 工日
	主体工程	
7	搭脚手架	313 工日
8	立柱钢筋	135 工日
9	安装柱、梁、板模板（含楼梯）	2263 工日
10	浇筑柱混凝土	204 工日
11	绑扎梁、板筋（含楼梯）	801 工日
12	浇筑梁、板混凝土（含楼梯）	939 工日
13	拆模板	398 工日
14	砌空心砖墙（含门窗框）	1095 工日

续表

序　　号	分项工程名称	劳　动　量
屋面工程		
15	屋面保温隔热层（含找坡）	236 工日
16	屋面找平层	52 工日
17	屋面防水层	49 工日
装饰工程		
18	顶棚墙面中级抹灰	1648 工日
19	外墙面砖	957 工日
20	楼地面及楼梯地砖	929 工日
21	一层顶棚龙骨吊顶	148 工日
22	铝合金窗扇安装	68 工日
23	胶合板门安装	81 工日
24	内墙涂料	380 工日
25	油漆	69 工日
26	室外	
27	水、电	

由于本工程各分部工程的劳动量差异较大，因此先分别组织各分部工程的流水施工，然后再考虑各分部工程之间的相互搭接施工。具体组织方法如下。

1. 基础工程

基础工程包括机械开挖土方、混凝土垫层、绑扎基础钢筋、支设基础模板、浇筑基础混凝土、回填土等施工过程。其中基础挖土采用机械开挖，考虑到工作面及土方运输的需要，将机械开挖土方与其他手工操作的施工过程分开考虑，不纳入流水作业。混凝土垫层劳动量较小，为了不影响其他施工过程的流水施工，将其安排在挖土施工过程完成之后，也不纳入流水作业。

基础工程平面上划分两个施工段组织流水施工（即 $m=2$），在 6 个施工过程中，参与流水的施工过程有 4 个（即 $n=4$），组织全等节拍流水施工如下。

(1) 绑扎基础钢筋劳动量为 59 个工日，施工班组人数为 10 人，采用一班制施工，其流水节拍为

$$t_{筋}=\frac{59}{2\times10\times1}天=2.95\ 天(取\ 3\ 天)$$

其他施工过程的流水节拍均取 3 天，其中支设基础模板 73 个工日，施工班组人数为

$$R_{木}=\frac{73}{2\times3}人=12.2\ 人(取\ 12\ 人)$$

浇筑基础混凝土劳动量为 87 个工日，施工班组人数为

$$R_{混凝土}=\frac{87}{2\times3}人=14.5\ 人(取\ 15\ 人)$$

回填土的劳动量为 150 个工日，施工班组人数为

$$R_{回填}=\frac{150}{2\times3}人=25\ 人$$

流水工期为

$$T=(m+n-1)K=(2+4-1)\times 3\text{ 天}=15\text{ 天}$$

（2）机械开挖土方劳动量为 6 个台班，用一台机械两班制施工，则作业持续时间为

$$t_{挖土}=\frac{6}{1\times 2}\text{天}=3\text{ 天}$$

（3）混凝土垫层劳动量为 30 个工日，施工班组人数为 15 人，一班制施工，其作业持续时间为

$$t_{混凝土}=\frac{30}{15\times 1}\text{天}=2\text{ 天}$$

则基础工程的工期为

$$T_1=(15+3+2)\text{天}=20\text{ 天}$$

2. 主体工程

主体工程包括搭脚手架，立柱钢筋，安装柱、梁、板模板（含楼梯），浇筑柱混凝土，绑扎梁、板钢筋（含楼梯），浇筑梁、板混凝土（含楼梯），拆模板，砌空心砖墙（含门窗框）等施工过程，其中搭脚手架、拆模板、砌空心砖墙（含门窗框）三个施工过程属平行穿插施工过程，只根据施工工艺要求尽量搭接施工即可，不纳入流水施工。主体工程由于有层间关系，要保证施工过程流水施工，必须使 $m=n$，否则施工班组就会出现窝工现象。本工程中平面上划分为两个施工段，主导施工过程是安装柱、梁、板模板（含楼梯），要组织主体工程流水施工，就要保证主导施工过程连续作业，为此，将其他次要施工过程综合为一个施工过程来考虑其流水节拍，且其流水节拍不得大于主导施工过程的流水节拍，以保证主导施工过程的连续性。因此主体工程参与流水的施工过程数 $n=2$，可满足 $m=n$ 的要求。具体组织如下。

（1）主导施工过程的安装柱、梁、板模板（含楼梯）劳动量为 2263 个工日，施工班组人数为 25 人，两班制施工，则其流水节拍为

$$t_{模}=\frac{2263}{4\times 2\times 25\times 2}\text{天}=5.65\text{ 天(取 6 天)}$$

（2）立柱钢筋，浇筑柱混凝土，绑扎梁、板钢筋（含楼梯），浇筑梁、板混凝土（含楼梯）统一按一个施工过程来考虑其流水节拍，该节拍不得大于 6 天。

① 立柱钢筋劳动量为 135 个工日，施工班组人数为 17 人，一班制施工，则其流水节拍为

$$t_{柱筋}=\frac{135}{4\times 2\times 17\times 1}\text{天}=1\text{ 天}$$

② 浇筑柱混凝土劳动量为 204 个工日，施工班组人数为 14 人，两班制施工，其流水节拍为

$$t_{柱混凝土}=\frac{204}{4\times 2\times 14\times 2}\text{天}=0.9\text{ 天(取 1 天)}$$

③ 绑扎梁、板钢筋（含楼梯）劳动量为 801 个工日，施工班组人数为 25 人，两班制施工，其流水节拍为

$$t_{梁、板筋}=\frac{801}{4\times 2\times 25\times 2}\text{天}=2\text{ 天}$$

④ 浇筑梁、板混凝土（含楼梯）劳动量为 939 个工日，施工班组人数为 20 人，三班

制施工，其流水节拍为

$$t_{梁、板混凝土}=\frac{939}{4\times2\times20\times3}天=1.96天(取2天)$$

因此，综合施工过程的流水节拍仍为（1+2+2+1）天=6天，可与主导施工过程一起组织全等节拍流水施工。其流水工期为

$$T=(mr+n-1)t=(2\times4+2-1)\times6天=54天$$

（3）拆模施工过程计划在浇筑梁、板混凝土（含楼梯）12天后进行，其劳动量为398个工日，施工班组人数为25人，一班制施工，其流水节拍为

$$t_{拆模}=\frac{398}{4\times2\times25\times1}天=1.99天(取2天)$$

（4）砌空心砖墙（含门窗框）劳动量为1095个工日，施工班组人数为45人，一班制施工，其流水节拍为

$$t_{砌墙}=\frac{1095}{4\times2\times45\times1}天=3.04天(取3天)$$

则主体工程的工期为

$$T_2=(54+12+2+3)天=71天$$

3. 屋面工程

屋面工程包括屋面保温隔热层（含找坡）、屋面找平层和屋面防水层三个施工过程。考虑屋面防水要求高，所以不分段施工，即采用依次施工的方式。

（1）屋面保温隔热层（含找坡）劳动量为236个工日，施工班组人数为40人，一班制施工，其施工持续时间为

$$t_{保温}=\frac{236}{40\times1}天=5.9天(取6天)$$

（2）屋面找平层劳动量为52个工日，施工班组人数为18人，一班制施工，其施工持续时间为

$$t_{找平}=\frac{52}{18\times1}天=2.89天\ (取3天)$$

（3）屋面找平层完成后，安排7天的养护和干燥时间，方可进行屋面防水层的施工。屋面防水层劳动量为49个工日，施工班组人数为10人，一班制施工，其施工持续时间为

$$t_{防水}=\frac{49}{10\times1}天=4.9天\ (取5天)$$

则屋面工程的工期为

$$T_3=(6+3+5)天=14天$$

4. 装饰工程

装饰工程包括顶棚墙面中级抹灰、外墙面砖、楼地面及楼梯地砖、一层顶棚龙骨吊顶、铝合金窗扇安装、胶合板门安装、内墙涂料、油漆等施工过程。其中一层顶棚龙骨吊顶属穿插施工过程，不参与流水作业，因此参与流水的施工过程 $n=7$。

装饰工程采用自上而下的施工起点流向。结合装修工程的特点，把每层房屋视为一个施工段，共4个施工段（即 $m=4$），其中顶棚墙面抹灰工程是主导施工过程，组织有节奏流水施工如下。

（1）顶棚墙面中级抹灰劳动量为1648个工日，施工班组人数为60人，一班制施工，其流水节拍为

$$t_{抹灰}=\frac{1648}{4\times60\times1}天=6.8天(取7天)$$

（2）外墙面砖劳动量为957个工日，施工班组人数为34人，一班制施工，则其流水节拍为

$$t_{外墙}=\frac{957}{4\times34\times1}天=7.04天(取7天)$$

（3）楼地面及楼梯地砖劳动量为929个工日，施工班组人数为33人，一班制施工，其流水节拍为

$$t_{地面}=\frac{929}{4\times33\times1}天=7.04天(取7天)$$

（4）铝合金窗扇安装68个工日，施工班组人数为6人，一班制施工，则流水节拍为

$$t_{窗}=\frac{68}{4\times6\times1}天=2.83天(取3天)$$

（5）其余胶合板门安装、内墙涂料、油漆安排一班制施工，流水节拍均取3天，其中胶合板门安装劳动量为81个工日，施工班组人数为7人；内墙涂料劳动量为380个工日，施工班组人数为32人；油漆劳动量为69个工日，施工班组人数为6人。

（6）一层顶棚龙骨吊顶属穿插施工过程，不占总工期，其劳动量为148个工日，施工班组人数为15人，一班制施工，则其施工持续时间为

$$t_{顶棚}=\frac{148}{15\times1}天=9.87天(取10天)$$

装饰分部流水施工工期计算如下。

$$K_{抹灰,外墙}=7天$$
$$K_{外墙,地面}=7天$$
$$K_{地面,窗}=[4\times7-(4-1)\times3]天=(28-9)天=19天$$
$$K_{窗,门}=3天$$
$$K_{门,涂料}=3天$$
$$K_{涂料,油漆}=3天$$
$$T_4=\sum K_{i,i+1}+mt_n$$
$$=[(7+7+19+3+3+3)+4\times3]天=54天$$

综上所述，该框架结构工程的总工期计算如下：基础工程 $T_1=20$ 天；主体工程 $T_2=71$ 天；主体工程施工与基础工程施工可搭接3天；屋面工程与装饰工程平行施工，不单独计入总工期；装饰工程 $T_4=54$ 天。

总工期为：$T=T_1+T_2-3+T_4=20+71-3+54=142$（天）。

本工程流水施工作业进度计划安排如图3-17所示。

【例3-11】 多层砌体结构房屋流水施工。某工程为一栋带地下室的六层三单元砌体结构住宅，建筑面积为3382.31m^2，基础为1m厚换土垫层，30mm厚混凝土垫层上做砖砌条形基础；主体砖墙承重；大客厅楼板、厨房、卫生间、楼梯为现浇钢筋混凝土；其余楼板为预制空心楼板；层层有圈梁、构造柱。本工程室内采用一般抹灰，普通涂料刷白；楼

地面为水泥砂浆地面；铝合金窗、胶合板门；外墙为水泥砂浆抹灰，刷外墙涂料。屋面保温材料选用保温蛭石板，防水层选用 4mm 厚 SBS 改性沥青防水卷材。该工程劳动量见表 3－11。

表 3－11　某幢六层三单元砌体结构房屋工程劳动量一览表

序　　号	分项工程名称	劳　动　量
	基础工程	
1	机械挖土方	6 台班
2	素土机械压实 1m	3 台班
3	300mm 厚混凝土垫层（含构造柱筋）	88 工日
4	砌砖基础及基础墙	407 工日
5	基础现浇圈梁、构造柱及楼板模板	51 工日
6	基础圈梁、楼板钢筋	64 工日
7	梁、板、柱混凝土	74 工日
8	预制楼板安装灌缝	20 工日
9	人工回填土	242 工日
	主体工程	
10	脚手架（含安全网）	265 工日
11	砌砖墙	1560 工日
12	圈梁、楼板、构造柱、楼梯模板	310 工日
13	圈梁、楼板、楼梯钢筋	386 工日
14	梁、板、柱、楼梯混凝土	450 工日
15	预制楼板安装灌缝	118 工日
	屋面工程	
16	屋面保温隔热层	150 工日
17	屋面找平层	33 工日
18	屋面防水层	39 工日
	装饰工程	
19	门窗框安装	24 工日
20	外墙抹灰	401 工日
21	顶棚抹灰	427 工日
22	内墙抹灰	891 工日
23	楼地面及楼梯抹灰	520 工日
24	门窗扇安装	319 工日
25	油漆涂料	378 工日
26	散水、勒脚、台阶及其他	56 工日
27	水、暖、电	

对于砌体结构多层房屋的流水施工，一般先考虑分部工程的流水作业，然后再考虑各分部工程之间的相互搭接施工。具体组织方法如下。

1. 基础工程

基础工程包括机械挖土方，素土机械压实 1m，300mm 厚混凝土垫层（含构造柱筋），砌砖基础及基础墙，基础现浇圈梁、构造柱及楼板模板，基础圈梁、楼板钢筋，梁、板、柱混凝土，预制楼板安装灌缝，人工回填土等施工过程。其中机械挖土方及素土机械压实 1m 主要采用机械施工，考虑到工作面等要求，安排其依次施工，不纳入流水作业。其余施工过程在平面上划分成两个施工段，组织有节奏流水施工。

（1）机械挖土方劳动量为 6 个台班，一台机械两班制施工，施工持续时间为

$$t_{挖土}=\frac{6}{1\times2}天=3\ 天$$

施工班组人数安排 12 人。

（2）素土机械压实 1m 劳动量为 3 个台班，一台机械一班制施工，施工持续时间为

$$t_{压土}=\frac{3}{1\times1}天=3\ 天$$

施工班组人数安排 12 人。

（3）300mm 厚混凝土垫层（含构造柱筋）劳动量为 88 个工日，施工班组人数为 22 人，一班制施工，其流水节拍为

$$t_{垫}=\frac{88}{2\times22\times1}天=2\ 天$$

（4）砌砖基础及基础墙劳动量为 407 个工日，施工班组人数为 34 人，一班制施工，其流水节拍为

$$t_{砖基}=\frac{407}{2\times34\times1}天=5.98\ 天(取\ 6\ 天)$$

（5）将基础现浇圈梁、构造柱及楼板模板，基础圈梁、楼板钢筋，梁、板、柱混凝土合并为一个施工过程，其劳动量为 51＋64＋74＝189(个)工日，施工班组人数为 30 人，一班制施工，其流水节拍为

$$t_{现浇梁、板、柱}=\frac{189}{2\times30\times1}天=3.15\ 天(取\ 3\ 天)$$

（6）预制楼板安装灌缝劳动量为 20 个工日，施工班组人数为 10 人，一班制施工，其流水节拍为

$$t_{安板}=\frac{20}{2\times10\times1}天=1\ 天$$

（7）人工回填土劳动量为 242 个工日，施工班组人数为 30 人，一班制施工，其流水节拍为

$$t_{回填}=\frac{242}{2\times30\times1}天=4.03天(取4天)$$

基础工程流水施工中，砌砖基础及基础墙是主导施工过程，只要保证其连续施工即可，其余三个施工过程安排间断施工，及早为主体工程提供工作面，以利于缩短工期。

2. 主体工程

主体工程包括脚手架（含安全网），砌砖墙，圈梁、楼板、构造柱、楼梯模板，圈梁、楼板、楼梯钢筋，梁、板、柱、楼梯混凝土，预制楼板安装灌缝等施工过程。其中脚手架（含安全网）属平行穿插施工过程，只根据施工工艺要求，尽量搭接施工即可，不纳入流水施工。主体工程在平面上划分为两个施工段组织流水施工，为了保证主导施工过程砌砖墙能连续施工，将圈梁、楼板、构造柱、楼梯模板、圈梁、楼板、楼梯钢筋，梁、板、柱、楼梯混凝土及预制楼板安装灌缝合并为一个施工过程，考虑其流水节拍，且合并后的流水节拍不应大于主导施工过程的流水节拍，具体组织安排如下。

（1）砌砖墙劳动量为1560个工日，施工班组人数为32人，一班制施工，流水节拍为

$$t_{砖墙}=\frac{1560}{6\times2\times32\times1}天=4.06天(4天)$$

（2）圈梁、楼板、构造柱、楼梯模板、圈梁、楼板、楼梯钢筋，梁、板、柱、楼梯混凝土及预制楼板安装灌缝在一个施工段上的持续时间之和为4天。

① 圈梁、楼板、构造柱、楼板模板劳动量为310个工日，一班制施工，流水节拍为1天，施工班组人数为

$$R_{模}=\frac{310}{6\times2\times1\times1}人=25.83人(取26人)$$

② 圈梁、楼板、楼梯钢筋劳动量为386个工日，一班制施工，流水节拍为1天，施工班组人数为

$$R_{筋}=\frac{386}{6\times2\times1\times1}人=32.17人(取32人)$$

③ 梁、板、柱、楼梯混凝土劳动量为450个工日，三班制施工，流水节拍为1天，施工班组人数为

$$R_{混凝土}=\frac{450}{6\times2\times3\times1}人=12.5人(取13人)$$

（3）预制楼板安装灌缝劳动量为118个工日，施工班组人数为10人，一班制施工，其流水节拍为

$$t_{安装}=\frac{118}{6\times2\times10\times1}=0.98天(取1天)$$

3. 屋面工程

屋面工程包括屋面保温隔热层、屋面找平层、屋面防水层等施工过程。考虑到屋面防水要求高，所以不分段，采用依次施工的方式。其中屋面找平层完成后，需要有一段养护和干燥时间，方可进行防水层施工。

4. 装饰工程

装饰工程包括门窗框安装，外墙抹灰，顶棚抹灰，内墙抹灰，楼地面及楼梯抹灰，


【流水施工应用实例】

门窗扇安装，油漆涂料，散水、勒脚、台阶及其他等施工过程。每层划分为一个施工段（$m=6$），采用自上而下的顺序施工，考虑到屋面防水层完成与否对顶层顶棚内墙抹灰的影响，顶棚内墙抹灰采用五层→四层→三层→二层→一层→六层的起点流向。考虑装修工程内部各施工过程之间劳动力的调配，安排适当的组织间歇时间组织流水施工。

流水节拍等参数确定方法同例3-10，本工程流水施工进度计划如图3-18所示。

小　　结

流水施工克服了依次施工和平行施工的缺点，又具有这两种施工组织方式的优点，它的特点是施工的连续性和均衡性。采用流水施工组织方式可以提高劳动生产率，缩短工期，降低工程成本。

按性质的不同，组织流水施工的基本参数可分为工艺参数、空间参数和时间参数。在实际工程中应灵活运用这三类参数的确定方法，达到既符合实际情况又科学合理。

流水施工作业按流水节拍的特征，可以分为等节奏流水施工和异节奏流水施工。在实际工程中同样应结合工程特点，合理选用或组合选用施工组织方式。



习　　题

一、思考题

1. 施工组织有哪几种方式？各有何特点？
2. 组织流水施工的要点和条件有哪些？
3. 流水施工中，主要参数有哪些？试分别叙述它们的含义。
4. 施工段划分的基本要求是什么？如何正确划分施工段？
5. 流水施工的时间参数是如何确定的？
6. 流水节拍的确定应考虑哪些因素？
7. 流水施工的基本方式有哪几种？各有什么特点？
8. 如何组织等节奏流水施工？如何组织等步距异节拍流水施工？
9. 什么是无节奏流水施工？如何确定其流水步距？

二、案例题

1. 某工程有A、B、C三个施工过程，每个施工过程均划分为四个施工段，设$t_A=2$天、$t_B=4$天、$t_C=3$天。试分别计算依次施工、平行施工及流水施工的工期，并绘制施工进度计划。

2. 已知某工程任务划分为五个施工过程，分五段组织流水施工，流水节拍均为 3 天，在第二个施工过程结束后有 2 天的技术与组织间歇时间。试计算其工期并绘制进度计划。

3. 某项目由四个施工过程组成，划分为四个施工段。每段流水节拍均为 3 天，且知第二个施工过程需待第一个施工过程完工后 2 天才能开始进行，又知第三个施工过程可与第二个施工过程搭接 1 天。试计算其工期并绘出施工进度计划。

4. 某分部工程，已知施工过程 $n=4$，施工段数 $m=5$，每段流水节拍分别为 $t_1=2$ 天、$t_2=5$ 天、$t_3=3$ 天、$t_4=4$ 天，试计算其工期并绘出流水施工进度计划。

5. 某工程项目由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个分项工程组成，划分为六个施工段，各分项工程在各个施工段上的持续时间依次为 6 天、2 天和 4 天。试编制等步距异节拍流水施工方案。

6. 某地下工程由挖基槽、做垫层、砌砖基和回填土四个分项工程组成，在平面上划分为六个施工段，各分项工程在各个施工段上的流水节拍依次为挖基槽 6 天、做垫层 2 天、砌砖基 4 天、回填土 2 天。做垫层完成后，其相应施工段至少应有技术间歇时间 2 天。为了加快流水施工速度，试编制工期最短的流水施工方案。

7. 某现浇钢筋混凝土工程由支模板、绑扎钢筋、浇筑混凝土、拆模板和回填土五个分项工程组成，在平面上划分为六个施工段，各分项工程在各个施工段上的施工持续时间见表 3－12。在混凝土浇筑后至拆模板前必须有 2 天养护时间。试编制该工程的流水施工方案。

表 3－12　施工持续时间表

分项工程名称	持续时间/天					
	①	②	③	④	⑤	⑥
支模板	2	3	2	3	2	3
绑扎钢筋	3	3	4	4	3	3
浇筑混凝土	2	1	2	2	1	2
拆模板	1	2	1	1	2	1
回填土	2	3	2	2	3	2

8. 某项目各施工过程在各施工段上的作业时间见表 3－13，试对其组织流水施工。

表 3－13　某工程流水节拍（天）

施　工　段	施 工 过 程			
	①	②	③	④
Ⅰ	5	4	2	3
Ⅱ	3	4	5	3
Ⅲ	4	5	3	2
Ⅳ	3	5	4	3

三、岗位（执业）资格考试真题

（一）单项选择题

1. 各施工过程按一定的施工顺序，前一施工过程完成后后一施工过程才开始施工，或前一个施工段完成后后一个施工段才开始施工的施工组织方式是（　　）。

A. 依次施工　　B. 平行施工　　C. 流水施工　　D. 成倍施工

2. 组织流水施工时，流水节拍、施工过程和施工段见表 3－14，则流水步距计算正确的是（　　）。

表 3－14　题 2 流水节拍（天）

施工过程	施工段		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
①	3	1	2
②	1	2	2
③	1	1	2

A. $K_{①,②}=2$，$K_{②,③}=2$　　B. $K_{①,②}=2$；$K_{②,③}=3$

C. $K_{①,②}=3$；$K_{②,③}=2$　　D. $K_{①,②}=3$；$K_{②,③}=3$

3. 组织流水施工时，流水节拍、施工过程和施工段见表 3－15，则该工程最适宜采用（　　）方式组织施工。

A. 等节拍　　B. 异节拍　　C. 无节拍　　D. 无节奏

表 3－15　题 3 流水节拍（天）

施工过程	施工段		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
①	2	3	1
②	4	2	1
③	2	1	5

4. 建筑工程采用依次施工方式组织施工时，其特点不包括（　　）。

A. 不能充分利用工作面　　B. 不利于提高劳动生产率

C. 若采用专业班组施工，有窝工现象　　D. 施工现场管理困难

5. 组织流水施工时，相邻两个专业队在保证施工顺序、满足连续施工、最大限度搭接和保证工程质量要求的前提下，相继进入同一施工段开始施工的最小时间间隔称为（　　）。

A. 流水节拍　　B. 流水步距　　C. 流水强度　　D. 流水工期

6. 组织流水施工时，由施工组织原因造成的间歇时间称为（　　）。

A. 流水节拍　　B. 平行搭接时间　　C. 技术间歇　　D. 组织间歇

7. 组织流水施工时，对于多层和高层建筑物，划分施工段时应满足合理组织施工的要求，即施工段的数目（　　）施工过程数。

A. 小于　　B. 小于或等于　　C. 大于　　D. 大于或等于

8. 采用等步距异节拍组织流水施工时，下列说法错误的是（　　）。

A. 同一施工过程在各施工段之间流水节拍相等

B. 各施工过程之间流水步距相等

C. 专业施工班组数大于施工过程数

D. 流水步距等于流水节拍

9. 各部工程任务各施工段同时开工、同时完工的组织方式是（　　）。

A. 依次施工　　B. 平行施工　　C. 流水施工　　D. 成倍施工

10. 建筑工程采用流水施工方式组织施工时，其特点不包括（　　）。

A. 施工连续、均衡　　B. 有利于提高劳动生产率

C. 工作面得到了充分利用　　D. 若采用专业班组施工，有窝工现象

11. 组织流水施工时，为了消灭由于不同的施工队组不能同时在一个工作面上工作而产生的互等、停歇现象，为流水作业创造条件，应该（　　）。

A. 减少作业人数　　B. 划分施工段　　C. 划分施工层　　D. 合并施工过程

12. 下列组织流水施工的方式中，专业班组数大于施工过程数的是（　　）。

A. 等节拍流水　　B. 异步距异节拍流水

C. 等步距异节拍流水　　D. 无节奏流水

13. 建筑工程采用平行施工方式组织施工时，其特点不包括（　　）。

A. 不能充分利用工作面　　B. 工期短

C. 材料供应集中　　D. 施工现场管理困难

14. 利用横道图表示建设工程进度计划的优点是（　　）。

A. 有利于动态控制　　B. 明确反映关键工作

C. 明确反映工作机动时间　　D. 简单明了、直观易懂

15. 某道路工程划分为四个施工过程、五个施工段进行施工，各施工过程的流水节拍分别为6天、4天、4天、2天。如果组织加快的成倍节拍流水施工，则流水施工工期为（　　）天。

A. 40　　B. 30　　C. 24　　D. 20

16. 某瓦工班组15人，砌1.5砖厚砖基础，需6天完成，砌筑砖基础的时间定额为1.25工日/m^3，该班组完成的砌筑工程量是（　　）。

A. 112.5m^3　　B. 90m^3　　C. 80m^3　　D. 72m^3

17. 施工图预算是确定单位工程预算造价的经济文件，一般由（　　）编制。

A. 建设单位　　B. 建设单位或甲方

C. 施工单位或乙方　　D. 施工单位或设计单位

18. 某工程基础土方1600m^3，采用挖斗容量为0.5m^3的反铲挖掘机挖土，挖掘机台班产量为70m^3/台班，如果要求在5天内完成挖土方工作，需要（　　）该型号挖掘机。

A. 5台　　B. 4台　　C. 6台　　D. 7台

（二）多项选择题

1. 某房屋建筑过程采用依次施工方式组织施工时，特点有（　　）。

A. 工期长　　B. 若采用专业班组施工，有窝工现象

C. 现场管理难度大　　　　D. 货源供应紧张

2. 下列流水施工组织方式中，施工班组数等于施工过程数的有（　　）。

A. 等节拍流水　　　　B. 异步距异节拍流水

C. 等步距异节拍流水　　　　D. 无节奏流水

3. 组织流水施工时，流水节拍、施工过程和施工段见表3-16，则下列说法正确的有（　　）。

A. 应采用等节拍流水组织施工　　　　B. 应采用异节拍流水组织施工

C. $K_{①,②}=3$，$K_{②,③}=3$　　　　D. $K_{①,②}=3$，$K_{②,③}=6$

表3-16　题3流水节拍（天）

施工过程	施工段			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
①	3	3	3	3
②	3	3	3	3
③	3	3	3	3

4. 房屋建筑工程采用等节拍流水方式组织施工时，特点有（　　）。

A. 不同施工过程在各施工段上的流水节拍均相等

B. 流水步距等于流水节拍

C. 专业班组无窝工

D. 施工班组数大于施工过程数

5. 流水施工根据各施工过程时间参数的不同特点分类，包括（　　）。

A. 等节拍流水　　　　B. 异节拍流水

C. 无节拍流水　　　　D. 无节奏流水

6. 下列流水施工的参数，属于时间参数的有（　　）。

A. 工作面　　　　B. 流水步距

C. 工期　　　　D. 流水节拍

（三）案例分析题

1. 某两层住宅楼工程，主体划分为砌砖墙、钢筋混凝土圈梁、楼板安装/灌缝共三个施工过程，每一层划分为两个工程量相等的施工段，各施工过程均采用专业工作队组织流水施工，专业队伍在各施工段上的持续时间见表3-17。

表3-17　各施工段的持续时间

施工过程		持续时间/天
砌砖墙		5
钢筋混凝土圈梁	支模板	1
	扎钢筋	1
	浇混凝土	1
楼板安装/灌缝		2

请根据上述背景资料完成以下小题选项，其中判断题二选一（A、B选项），单选题四选一（A、B、C、D选项），多选题四选二或三（A、B、C、D选项），不选、多选、少选、错选均不得分。

(1)（判断题）本工程组织流水施工时，应允许部分次要施工过程的作业队伍不能连续作业。(　　)

A. 正确　　　　B. 错误

(2)（判断题）本工程组织流水施工时，应使参与流水的施工过程数小于或等于施工段数。(　　)

A. 正确　　　　B. 错误

(3)（单选题）本工程组织流水施工时，应采用的流水施工方式为（　　）流水施工。

A. 等节拍　　B. 异步距异节拍　　C. 等步距异节拍　　D. 无节奏

(4)（单选题）本工程组织流水施工时，主导施工过程为（　　）。

A. 砌砖墙　　B. 支圈梁模板　　C. 绑圈梁钢筋　　D. 楼板安装/灌缝

(5)（多选题）本工程组织流水施工时，应将下列（　　）施工过程合并为一个施工过程参与流水作业。

A. 砌砖墙　　B. 支圈梁模板　　C. 绑圈梁钢筋　　D. 楼板安装/灌缝

(6)（单选题）本工程组织流水施工时，流水节拍应确定为（　　）天。

A. 1　　B. 2　　C. 5　　D. 10

(7)（单选题）本工程组织流水施工时，需将次要的施工过程合并，然后与主导施工过程一起参与流水，则流水步距应为（　　）天。

A. 1　　B. 2　　C. 3　　D. 5

(8)（单选题）本工程组织流水施工时，工期等于（　　）天。

A. 10　　B. 20　　C. 25　　D. 30

(9)（多选题）组织流水施工时，空间参数包括（　　）。

A. 施工段　　B. 施工层　　C. 工作面　　D. 工作队

(10)（多选题）本工程组织流水施工时，下列说法正确的有（　　）。

A. 主导施工过程连续作业　　　　B. 主导施工过程间断作业

C. 工作面有空闲　　　　D. 工作面无空闲

2. 某工程由三个完全一样的单体建筑组成，由五个施工过程组成，包括土方开挖、基础施工、主体结构、二次结构、装饰装修。按施工工艺要求，主体结构完成两周后才进行二次结构施工。该工程采用五个专业工作队组织施工，各施工过程的流水节拍见表3-18。

表3-18　题2流水节拍（周）

施工过程编号	施工过程	流水节拍
Ⅰ	土方开挖	2
Ⅱ	基础施工	4
Ⅲ	主体结构	8
Ⅳ	二次结构	2
Ⅴ	装饰装修	4

（1）上述案例属于何种形式的流水施工？流水施工组织形式还有哪些？

（2）计算其总工期并绘制流水施工进度计划横道图。

（3）合同工期为36周，该进度计划是否满足要求？若不满足，优化工期时应遵循哪些原则？

3. 某高校建设一学生宿舍，建设过程中，施工单位在组织基础工程施工时，按A、B、C三道工序划分成四个施工段组织流水施工，其流水节拍见表3－19。请计算A与B、B与C的流水步距及基础的施工工期。

表3－19　题3流水节拍（天）

施　工　段	工　　序			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
A	3	3	4	2
B	1	1	2	1
C	4	5	7	3



【单元3参考答案】

单元4 网络计划技术



施工员岗位工作标准

1. 能正确划分施工区段，合理确定施工顺序。
2. 能够进行资源平衡计算。
3. 可参与编制施工进度计划及资源需求计划。

造价员岗位工作标准

具备从事一般建筑工程施工项目进度管理的能力。

知识目标

1. 了解网络计划的基本概念。
2. 了解网络图的绘制方法。
3. 掌握网络计划时间参数的计算方法。
4. 熟练应用网络计划技术进行项目管理。

典型工作任务

任务描述	绘制主体工程时标网络计划
考核时量	3小时（可划分为多个子任务：查阅定额、资源计算、绘制时标网络计划）
设计条件及要求	

（1）位于湖南省××市区的某住宅楼工程，为五层砖混结构，建筑面积为3300m²，建筑平面为4个标准单元组合。施工模板采用竹胶合板，现场采用商品混凝土，仅砂浆现场拌制，垂直运输机械为塔式起重机。

（2）本工程开工日期为2016年5月3日，竣工日期为6月20日（工期可以提前，但必须控制在10%以内，工期不能延后）。

（3）采用流水施工方式组织施工。

（4）采用CAD软件绘制基础工程时标网络计划，A2图幅。

（5）提供现行《建设工程劳动定额》一套，提供《建筑施工组织》教材一本，A4白纸每人2张。

续表

<table>
<tr><th colspan="7">工程量一览表（工艺顺序请自行调整）</th></tr>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th colspan="2">分部分项工程名称</th><th colspan="2" rowspan="2">施工条件说明</th><th colspan="2">工程量</th></tr>
<tr><th colspan="2">基础工程</th><th>单位</th><th>数量</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">人工挖基槽</td><td colspan="2">基槽底宽<1.5m，深度<3m，三类土</td><td>m^3</td><td>594</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">基础及室内回填土</td><td colspan="2">夯填，基槽底宽>0.5m</td><td>m^3</td><td>428.5</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">砌砖基础</td><td colspan="2">上部1砖厚大放脚条形基础</td><td>m^3</td><td>200.4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3">钢筋混凝土地圈梁</td><td>支模板</td><td>竹胶合板模板，圈梁高>0.12m</td><td rowspan="3">圈梁尺寸240mm×240mm，纵筋4Φ12</td><td>m^2</td><td>160</td></tr>
<tr><td>绑扎钢筋</td><td>机制手绑</td><td>t</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td>浇混凝土</td><td>商品混凝土机捣，现场地泵运送</td><td>m^3</td><td>19.8</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">混凝土垫层</td><td colspan="2">带形混凝土垫层，商品混凝土机捣，现场地泵运送</td><td>m^3</td><td>90.3</td></tr>
</table>


【单元4任务答案】


【工程网络计划技术规程】

1956年，美国杜邦公司研究出关键线路法（CPM），并使用于杜邦公司一个化学工程维修项目，使维修停产时间由过去的125小时降低到74小时，一年节约了100万美金，取得了良好的经济效果。

1958年，美国海军武器部在研制“北极星”导弹计划时，应用了计划评审方法（PERT），使导弹的制造时间缩短了3年，节约了大量资金，获得了巨大成功。

随着现代科学技术的迅猛发展、管理水平的不断提高，网络计划技术也在不断发展和完善，目前已广泛运用于世界各国的工业、国防、建筑、运输和科研等领域，成为发达国家盛行的一种现代计划管理的科学方法。

我国《工程网络计划技术规程》（JGJ/T 121—2015）推荐采用的工程网络计划类型包括：双代号网络计划、单代号网络计划、双代号时标网络计划和单代号搭接网络计划。

4.1 网络计划的基本概念

计划管理的新方法是建立在网络图基础上的，因此统称为网络计划方法。

4.1.1 网络图

由箭线和节点组成，用来表示工作流程的有向、有序的网状图形，称为网络图。网络图按节点和箭线所代表的含义不同，可分为双代号网络图和单代号网络图。

1. 双代号网络图

以箭线及其两端节点的编号表示工作的网络图，称为双代号网络图。它用两个节点一根箭线代表一项工作，工作名称写在箭线上面，工作持续时间写在箭线下面，在箭线前后的衔接处画上节点编上号码，并以节点编号 i 和 j 代表一项工作名称，如图 4－1 所示。

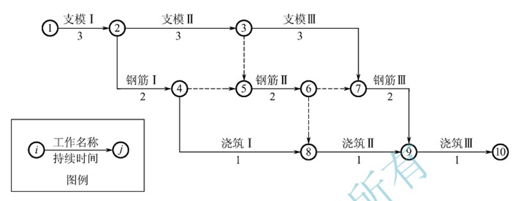


图 4－1　双代号网络图示例

2. 单代号网络图

以节点及其编号表示工作，以箭线表示工作之间的逻辑关系的网络图，称为单代号网络图。它用一个节点表示一项工作，节点所表示的工作代号、工作名称和持续时间标注在节点内，如图 4－2 所示。

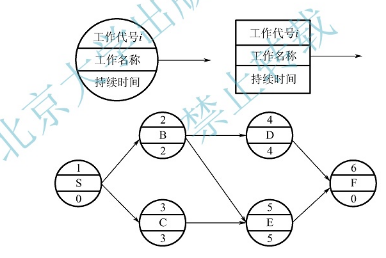


图 4－2　单代号网络图

3. 网络计划

用网络图表达任务构成、工作顺序并加注工作时间参数的进度计划，称为网络计划。网络计划可以从不同角度进行分类。

（1）按网络计划层次分，可分为综合网络计划、单位工程施工网络计划和局部网络计划。

（2）按网络计划的时间表达方式分，可分为非时标网络计划（箭线长短不代表时间，时间写出来）、时标网络计划（工作的持续时间用时间坐标绘制的网络计划）。

4.1.2 双代号网络图的基本符号

双代号网络图的基本符号是箭线、节点及节点编号。

1. 箭线

（1）在双代号网络图中，每一条箭线表示一项工作，工作的名称标注在箭线的上方，完成该项工作所需要的持续时间标注在箭线的下方，如图 4 - 3 所示。

（2）在建筑工程中，一条箭线表示项目中的一个施工过程，可以是一道工序、一个分项工程、一个分部工程或一个单位工程，其粗细程度、大小范围的划分根据计划任务的需要来确定。在双代号网络图中，任意一条实箭线都要占用时间、消耗资源（有时只占时间而不消耗资源，如混凝土的养护）。

（3）在双代号网络图中，为了正确表达工作之间的逻辑关系，往往需要应用虚箭线，其表示方法如图 4 - 4 所示。



图 4 - 3　工作的表示方法　　　图 4 - 4　双代号网络图中虚箭线的表示方法

（4）在无时间坐标限制的网络图中，箭线的长度原则上可以任意画，其占用的时间以下方标注的时间参数为准。箭线可以为直线、折线或斜线，但其行进方向均应从左向右，如图 4 - 5 所示。在有时间坐标限制的网络图中，箭线的长度必须根据完成该工作所需持续时间的大小按比例绘制。

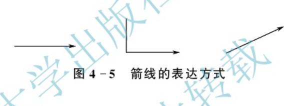


图 4 - 5　箭线的表达方式

2. 节点

网络图中箭线端圆圈或其他形状的封闭图形就是节点。在双代号网络图中，它表示工作之间的逻辑关系，节点表达的内容有以下方面。

（1）节点表示前面工作结束和后面工作开始的瞬间，所以节点不需要消耗时间和资源。

（2）箭线的箭尾节点表示该工作的开始，箭线的箭头节点表示该工作的结束。

（3）根据节点在网络图中的位置不同，可以分为起点节点、终点节点和中间节点。起点节点是网络图的第一个节点，表示一项任务的开始；终点节点是网络图的最后一个节点，表示一项任务的完成；除起点节点和终点节点以外的节点称为中间节点，任何一个中间节点都有双重的含义，它既是前面工作的箭头节点，也是后面工作的箭尾节点。图 4 - 6 所示为节点说明。

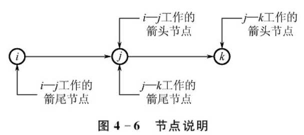


图 4 - 6　节点说明

图 4 - 1 中只有一个起点节点和终点节点，其他均为中间节点。

3. 节点编号

网络图中的每个节点都有自己的编号，以便赋予每项工作以代号，便于计算网络图的时间参数和检查网络图是否正确。

(1) 节点编号必须满足两条基本规则：其一，箭头节点编号大于箭尾节点编号，因此节点编号顺序是箭尾节点编号在前，箭头节点编号在后，若箭尾节点没有编号，则箭头节点不能编号；其二，在一个网络图中，所有节点不能出现重复编号，编号可以按自然数顺序进行，也可以采用非连续编号，以便适应网络计划调整中增加工作的需要，让编号留有余地。

(2) 节点编号的方法有两种：一种是水平编号法，即从起点节点开始由上到下逐行编号，每行则从左到右按顺序编号，如图 4－7(a) 所示；另一种是垂直编号法，即从起点节点开始从左到右逐列编号，每列则根据编号规则的要求进行编号，如图 4－7(b) 所示。

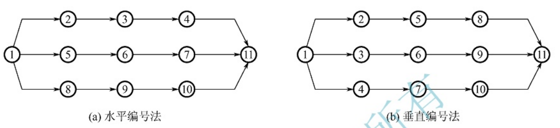


图 4－7　节点编号方法

4.1.3 双代号网络图的表达

1. 逻辑关系

工作之间相互制约或依赖的关系，称为逻辑关系。它包括工艺关系和组织关系。

(1) 工艺关系：是指生产工艺上客观存在的先后顺序关系，或是非生产性工作之间由工作程序决定的先后顺序关系。由施工工艺、方法所决定的先后顺序，一般不可变，如图 4－1 中的支模Ⅰ→钢筋Ⅰ→浇筑Ⅰ。

(2) 组织关系：是指在不违反工艺关系的前提下，人为安排工作的先后顺序关系。如图 4－1 中的支模Ⅰ→支模Ⅱ→支模Ⅲ。

2. 紧前工作、紧后工作、平行工作

(1) 紧前工作：紧排在本工作之前的工作为本工作的紧前工作。如图 4－1 中，浇筑Ⅰ的紧前工作是钢筋Ⅰ。

(2) 紧后工作：紧排在本工作之后的工作为本工作的紧后工作。如图 4－1 中，支模Ⅰ的紧后工作是钢筋Ⅰ和支模Ⅱ。

(3) 平行工作：与本工作同时进行的工作为本工作的平行工作。如图 4－1 中，支模Ⅱ的平行工作是钢筋Ⅰ。

3. 虚工作的应用

虚箭线是实际工作中并不存在的一项虚拟工作，故虚箭线既不占用时间也不消耗资源，一般起着工作之间的区分、联系和断路三个作用。需要注意的是，单代号网络图中不存在虚箭线。

(1) 区分作用：是指双代号网络图中每一项工作都必须用一条箭线和两个代号表示，若两项工作的代号相同，应使用虚工作加以区分，如图 4－8 所示。

(2) 联系作用：是指应用虚箭线正确表达工作之间相互依存的关系。如图 4－9 所示，垫层 2 的紧前工作是垫层 1 和挖土 2。

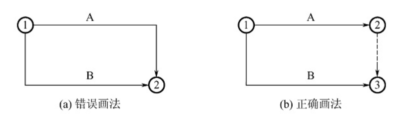


图 4-8　虚箭线的区分作用

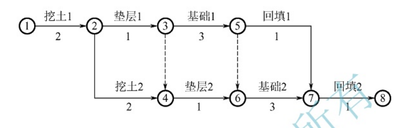


图 4-9　虚箭线的联系作用

(3) 断路作用：是用虚箭线断掉多余联系（即在网络图中把无联系的工作连接上时，应加上虚工作将其断开）。如图 4-1 中，钢筋Ⅱ的紧前工作是支模Ⅱ和钢筋Ⅰ。

图 4-10 所示为某基础工程挖基槽（A）、垫层（B）、基础（C）、回填土（D）四项工作的流水施工网络图，该网络图中出现了 A_2 与 C_1，B_2 与 D_1，A_3 与 C_2、D_1，B_3 与 D_2 四处多余联系的错误。

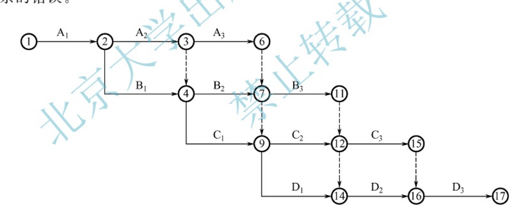


图 4-10　逻辑关系错误的网络图

为了正确表达工作间的逻辑关系，在出现逻辑错误的圆圈（节点）之间可增设新节点（即虚工作），切断毫无关系工作之间的联系，这种方法称为断路法。如图 4-11 中增设节点⑤，虚工作④—⑤切断了 A_2 与 C_1 之间的联系；同理，增设点⑧、⑩、⑬后虚工作⑦—⑧、⑨—⑩、⑫—⑬等也起到了相同的断路作用。然后去掉多余的虚工作，经调整后正确的网络图如图 4-12 所示。

由此可见，双代号网络图中虚工作是非常重要的，但在应用时要恰如其分，不能滥用，以必不可少为限。另外，增加虚工作后要进行全面检查，不要顾此失彼。

4. 线路、关键线路和关键工作

(1) 线路。网络图中从起点节点开始，沿箭线方向连续通过一系列箭线与节点，最后到达终点节点的通路称为线路。如图 4-1 中，共有 6 条线路。

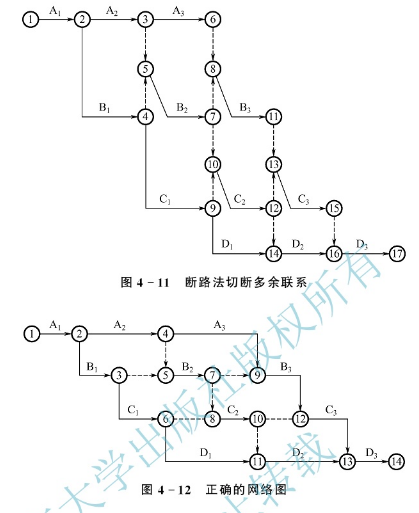


图 4－11　断路法切断多余联系

图 4－12　正确的网络图

（2）关键线路和关键工作。每一条线路都有自己确定的完成时间，其等于该线路上各项工作持续时间的总和，也是完成这条线路上所有工作的计划工期。工期最长的线路称为关键线路（或主要矛盾线）。如图 4－1 中，关键线路为①—②—③—⑦—⑨—⑩，关键线路宜用粗箭线、双箭线或彩色箭线标注。位于关键线路上的工作称为关键工作。

关键工作完成的快慢直接影响整个计划工期的实现，但关键线路在网络图中也许不止一条，可能同时存在几条，即这几条线路上的持续时间相同。

关键线路并不是一成不变的，在一定条件下，关键线路和非关键线路可以互相转化。当采用了一定的技术组织措施，缩短了关键线路上各工作的持续时间后，就有可能使关键线路发生转移，使原来的关键线路变成非关键线路，而原来的非关键线路变成关键线路。

4.2　网络图的绘制

网络图必须正确表达整个工程或任务的工艺流程和各工作开展的先后顺序，以及它们之间相互依赖、相互制约的逻辑关系，因此绘制网络图时必须遵循一定的规则和要求。

4.2.1 双代号网络图的绘制

1. 绘制规则

(1) 双代号网络图必须正确表达已定的逻辑关系。例如已知网络图的逻辑关系见表 4-1，需应用虚工作正确表达其逻辑关系，如图 4-13 所示。

表 4-1 网络图的逻辑关系

工　　作	A	B	C	D
紧前工作	—	—	A、B	B

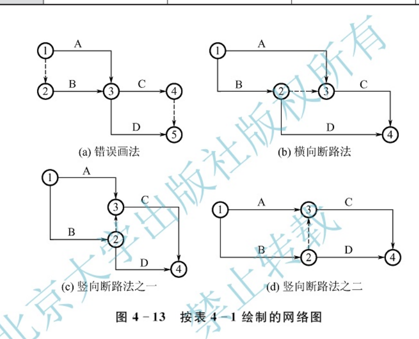


图 4-13 按表 4-1 绘制的网络图

在双代号网络图中，常见逻辑关系的表示方法见表 4-2。

表 4-2 常见逻辑关系的表示方法

序号	工作之间的逻辑关系	网络图中的表示方法	说　　明
1	有 A、B 两项工作按照依次施工方式进行	A B	B 工作依赖着 A 工作，A 工作约束着 B 工作的开始
2	有 A、B、C 三项工作同时开始	A B C	A、B、C 三项工作称为平行工作
3	有 A、B、C 三项工作同时结束	A B C	A、B、C 三项工作称为平行工作

续表

序号	工作之间的逻辑关系	网络图中表示方法	说　明
4	有 A、B、C 三项工作，只有在 A 完成后 B、C 才能开始		A 工作制约着 B、C 工作的开始；B、C 为平行工作
5	有 A、B、C 三项工作，C 工作只有在 A、B 完成后才能开始		C 工作依赖着 A、B 工作；A、B 为平行工作
6	有 A、B、C、D 四项工作，只有 A、B 完成后 C、D 才能开始		通过中间节点 j 正确地表达了 A、B、C、D 之间的关系
7	有 A、B、C、D 四项工作，A 完成后 C 才能开始，A、B 完成后 D 才能开始		D 与 A 之间引入了逻辑连接（虚工作），只有这样才能正确表达它们之间的约束关系
8	有 A、B、C、D、E 五项工作，A、B 完成后 C 才能开始，B、D 完成后 E 才能开始		虚工作 i—j 反映出 C 工作受到 B 工作的约束，虚工作 i—k 反映出 E 工作受到 B 工作的约束
9	在 A、B、C、D、E 五项工作，A、B、C 完成后 D 才能开始，B、C 完成后 E 才能开始		这是序号 1、5 两种情况通过虚工作连接了起来，虚工作表示 D 工作受到 B、C 工作的约束
10	A、B 两项工作，分三个施工段平行施工		每个工种的工程建立专业工作队，在每个施工段上进行流水作业，不同工种之间用逻辑搭接关系表示

(2) 双代号网络图中，严禁出现循环回路。所谓循环回路，是指从网络图中的某一个节点出发，顺着箭线方向又回到了原来出发点的线路，如图 4-14 所示。

(3) 双代号网络图中，在节点之间严禁出现带双向箭头或无箭头的连线，如图 4-15 所示。

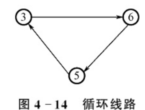


图 4-14　循环线路

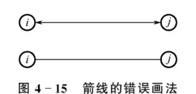


图 4-15　箭线的错误画法

（4）双代号网络图中，严禁出现没有箭头节点或没有箭尾节点的箭线，如图4－16所示。

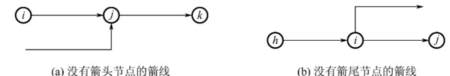


图4－16　没有箭头节点和箭尾节点的箭线

（5）当双代号网络图的某些节点有多条外向箭线或多条内向箭线时，为使图形简洁，可使用母线法绘制（但应满足一项工作用一条箭线和相应的一对节点表示），如图4－17所示。

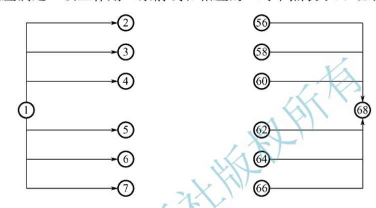


图4－17　母线表示法

（6）绘制网络图时，箭线不宜交叉；当交叉不可避免时，可用过桥法或指向法，如图4－18所示。

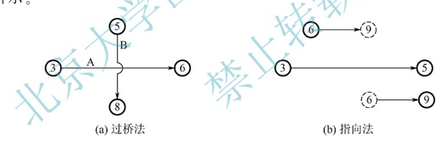


图4－18　箭线交叉的表示方法

（7）双代号网络图中应只有一个起点节点和一个终点节点（多目标网络计划除外），其他所有节点均应是中间节点，如图4－19所示。

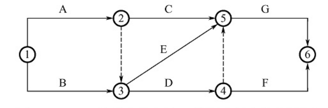


图4－19　一个起点节点和一个终点节点的网络图

以上是绘制网络图应遵循的基本规则，这些规则是保证网络图正确反映各项工作之间相互制约关系的前提，需要熟练掌握。

2. 绘制方法

1）节点位置法

（1）提供逻辑关系表，一般只要提供每项工作的紧前工作。

（2）确定各工作的紧后工作。

（3）确定各工作开始节点位置号和完成节点位置号。

（4）根据节点位置号和逻辑关系绘出初始网络图。

（5）检查、修改、调整，绘制正式网络图。

2）逻辑草稿法

当已知每一项工作的紧前工作时，可按下列步骤绘制网络图。

（1）绘制没有紧前工作的工作，使它们具有相同的箭尾节点，即起点节点。

（2）依次绘制其他各项工作。

① 当所绘制的工作只有一项紧前工作时，将该工作的箭线直接画在其紧前工作的完成节点之后。

② 当所绘制的工作有多项紧前工作时，如果在其紧前工作中存在一项只作为本工作紧前工作的工作，应将本工作箭线直接画在该紧前工作完成节点之后，然后用虚箭线分别将其他紧前工作连接起来，表达逻辑关系。

③ 如果紧前工作中有多项工作只作为本工作紧前工作的工作，则应将这些紧前工作的节点合并，再从合并后的节点开始绘制。

（3）合并没有紧后工作的箭线。

（4）确认无误，进行节点编号。

【例4-1】已知某网络图的工作逻辑关系见表4-3，试绘制其双代号网络图。

表4-3　工作逻辑关系

工　作	A	B	C	D	E	G	H
紧前工作	—	—	—	—	A、B	B、C、D	C、D

【解】（1）按照逻辑草稿法原则（1），绘制没有紧前工作的工作A、B、C、D，如图4-20(a) 所示。

（2）按前述原则(2)中的情况②绘制工作E，如图4-20 (b) 所示。

（3）按前述原则(2)中的情况②绘制工作H，如图4-20 (c) 所示。

（4）按前述原则(2)中的情况③绘制工作G，并将工作E、G、H合并，如图4-20(d)所示。

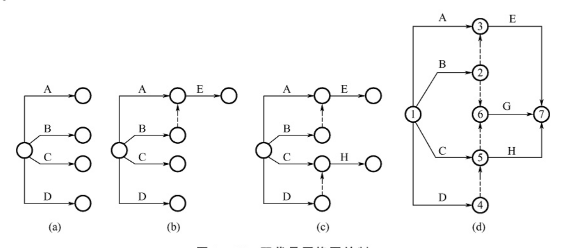


图4-20　双代号网络图绘制

3. 绘图注意事项

(1) 网络图的布局要条理清楚，重点突出。虽然网络图主要反映各项工作之间的逻辑关系，但为了便于使用，还应安排整齐、条理清楚、突出重点。尽量把关键工作和关键线路布置在中心位置；尽可能把密切相连的工作安排在一起；尽量减少斜箭线而采用水平箭线；尽可能避免交叉箭线出现，当网络图中不可避免地出现交叉时，不能直接相交画出，而应采用过桥法或指向法表示。图 4-21 所示为布置条理不清楚、重点不突出的画法；图 4-22 所示为布置条理清楚、重点突出的画法。

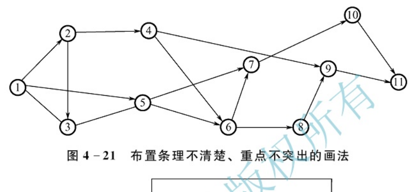


图 4-21　布置条理不清楚、重点不突出的画法

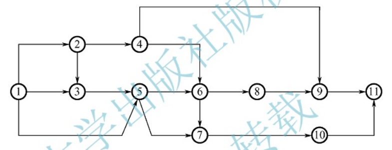


图 4-22　布置条理清楚、重点突出的画法

(2) 正确应用虚箭线进行网络图的断路。绘制网络图时必须符合以下三个要求：①符合施工顺序的关系；②符合流水施工的要求；③符合网络逻辑连接关系。

一般来说，对施工顺序和施工组织上必须衔接的工作，绘图时不易产生错误，但对于不发生逻辑关系的工作，就容易产生错误。遇到这种情况时，可采用虚箭线加以处理，用虚箭线在线路上隔断无逻辑关系的各项工作，该方法即为断路法。

应用虚箭线进行网络图断路，是正确表达工作之间逻辑关系的关键。如图 4-23 所示，某双代号网络图出现了多余联系，此时可采用以下两种方法进行断路：一种方法是在横向用虚箭线切断无逻辑关系的工作之间的联系，称为横向断路法（图 4-24），该方法主要用于无时间坐标的网络图；另一种方法是在纵向用虚箭线切断无逻辑关系的工作之间的联系，称为纵向断路法（图 4-25），该方法主要用于有时间坐标的网络图。

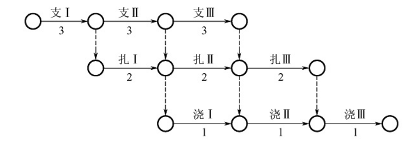


图 4-23　某双代号网络图存在多余联系的双代号网络图

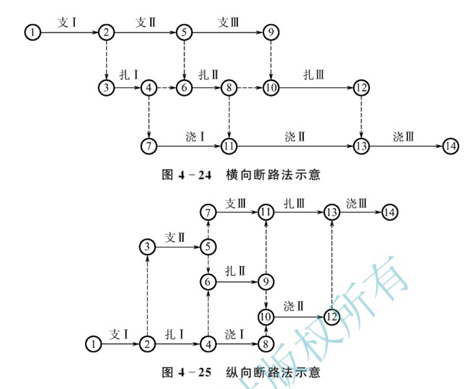
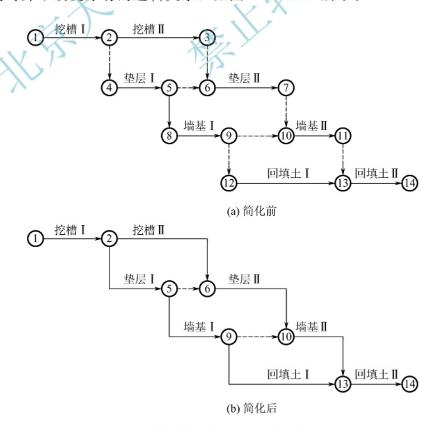


图4-24 横向断路法示意

图4-25 纵向断路法示意

(3) 力求减少不必要的箭线和节点。在双代号网络图中，应在满足绘图规则和用两个节点一根箭线代表一项工作的基础上，力求减少不必要的箭线和节点，使网络图图面简洁，减少时间参数的计算量。如图4-26(a) 所示，该图在施工顺序、流水关系及逻辑关系上均是合理的，但表达过于烦琐；如果将不必要的节点和箭线去掉，网络图将更加明快、简洁，同时并不改变原有的逻辑关系，如图4-26(b) 所示。



(a) 简化前

(b) 简化后

图4-26 网络图简化示意

(4) 合理运用网络图的分解。当网络图中的工作任务较多时，可以把它分成几个小块来绘制，分界点一般选择在箭线和节点较少的位置，或按施工部门分块，分界点要用重复号码，即前一块的最后一个节点编号与后一块的第一个节点编号相同。图 4-27 所示为一民用建筑基础工程和主体工程的网络图分解。

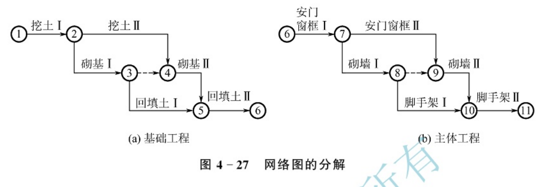


图 4-27 网络图的分解

4. 网络图的拼图

1) 网络图的排列

(1) 按施工过程排列法。如果为了突出表示施工过程的连续作业，可以把同一施工过程排列在同一水平线上，这一排列方法称为按施工过程排列法，如图 4-28 所示。

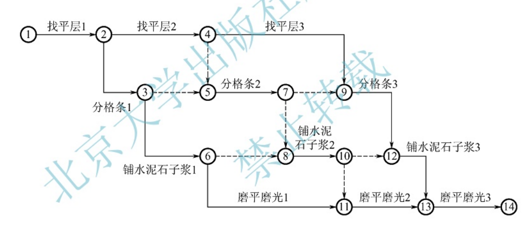


图 4-28 按施工过程排列法

(2) 按施工楼层排列法。如果在流水作业中，若干个不同工种工作，沿着建筑物的楼层展开时，可以把同一楼层的各项工作排在同一水平线上，这一排列方法称为按施工楼层排列法，如图 4-29 所示。

(3) 按施工段排列法。为了使网络计划更形象而清楚地反映出建筑工程施工的特点，绘图时可根据不同的工程情况、不同的施工组织方法和使用要求灵活排列，以简化层次，使各工作之间在工艺上及组织上的逻辑关系准确而清楚，便于对计划进行计算和调整。如果为了突出表示工作面的连续或者工作队的连续，可以把在同一施工段上的不同工种工作排列在同一水平线上，这种排列方法称为按施工段排列法，如图 4-30 所示。

2) 网络图的工作合并

网络图的工作合并的基本方法是：保留局部网络图中与外部工作相联系的节点，合并后箭线所表达的工作持续时间为合并前该部分网络图中相应最长线路段的工作时间之和，如图 4-31 和图 4-32 所示。

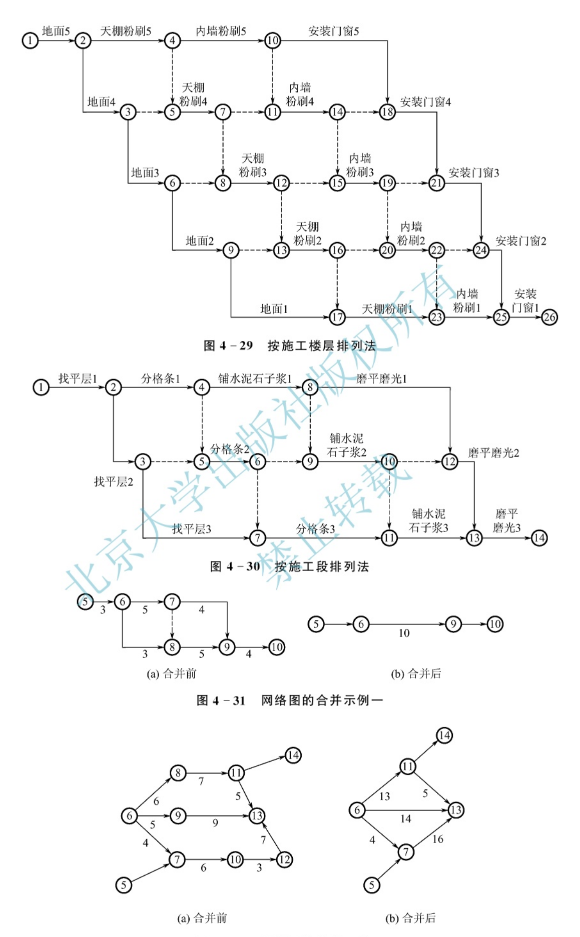


图 4－29 按施工楼层排列法

图 4－30 按施工段排列法

(a) 合并前

(b) 合并后

图 4－31 网络图的合并示例一

(a) 合并前

(b) 合并后

图 4－32 网络图的合并示例二



网络图的合并，主要用于群体工程施工控制网络图和施工单位的季节、年度控制网络图的编制。

3）网络图的连接

绘制复杂网络图时，往往先将其分解成若干个相互独立的部分，各自分头绘制，最后再按逻辑关系进行连接，形成一个整体网络图，如图 4－33 所示。网络图连接时应注意以下几点。

（1）必须有统一的构图排列形式。

（2）整个网络图的节点编号要协调一致。

（3）施工过程划分的粗细程度应一致。

（4）各分部工程之间应预留连接节点。

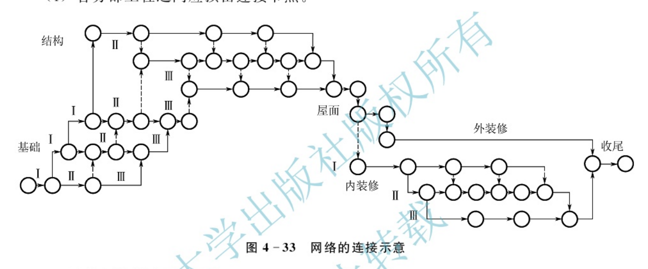


图 4－33　网络的连接示意

4）网络图的详略组合

网络图宜局部详细，整体简略。例如编制有标准层的多高层住宅、公寓或写字楼等工程施工网络计划，可以先将施工工艺过程和工程量与其他楼层均相同的标准层网络图绘出，其他层则简略为一根箭线表示，如图 4－34 所示。

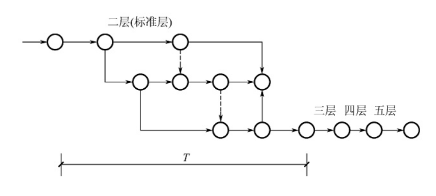


图 4－34　网络图的详细组合

【例 4－2】绘制本单元典型工作任务的双代号网络图。

【解】重新排列施工过程，查劳动定额，计算劳动量，划分施工段，确定各施工过程的持续时间。计算结果见表 4－4。

表 4-4 计算结果

<table>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th rowspan="2" colspan="2">分部分项工程名称</th><th colspan="2">工程量</th><th rowspan="2">时间定额</th><th rowspan="2">劳动量</th><th rowspan="2">施工段</th><th rowspan="2">人数</th><th rowspan="2">班制</th><th rowspan="2">流水节拍</th><th rowspan="2">作业天数</th></tr>
<tr><th>单位</th><th>数量</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">人工挖基槽</td><td>m³</td><td>594</td><td>0.536</td><td>318</td><td>2</td><td>18</td><td>1</td><td>9</td><td>18</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">混凝土垫层</td><td>m³</td><td>90.3</td><td>0.45</td><td>41</td><td>2</td><td>7</td><td>1</td><td>3</td><td>6</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">砌砖基础</td><td>m³</td><td>200.4</td><td>0.937</td><td>188</td><td>2</td><td>16</td><td>1</td><td>6</td><td>12</td></tr>
<tr><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3">钢筋混凝土地圈梁</td><td>支模板</td><td>10m²</td><td>16</td><td>1.62</td><td rowspan="3">57</td><td rowspan="3">2</td><td rowspan="3">8</td><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3">8</td></tr>
<tr><td>扎钢筋</td><td>t</td><td>1.5</td><td>10.8</td></tr>
<tr><td>浇混凝土</td><td>m³</td><td>19.8</td><td>0.745</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">基础及室内回填土</td><td>m³</td><td>428.5</td><td>0.182</td><td>78</td><td>2</td><td>13</td><td>1</td><td>3</td><td>6</td></tr>
</table>

注意：在本次安排中，基础工程分两个施工段进行施工，同时混凝土垫层完成后养护1天，钢筋混凝土地圈梁浇筑后养护2天。

绘制网络图时，必须正确理清工作之间的相互逻辑关系。本例逻辑关系分析如下。

(1) 工艺逻辑关系如下。

人工挖基槽1（挖1)→混凝土垫层1（垫1)→养护→砌砖基础1（基1)→钢筋混凝土地圈梁1（圈1)→养护→基础及室内回填土1（填1)。

人工挖基槽2（挖2)→混凝土垫层2（垫2)→养护→砌砖基础2（基2)→钢筋混凝土地圈梁2（圈2)→养护→基础及室内回填土2（填2)。

(2) 组织逻辑关系如下。

人工挖基槽1（挖1)→人工挖基槽2（挖2)。

混凝土垫层1（垫1)→混凝土垫层2（垫2)。

砌砖基础1（基1)→砌砖基础2（基2)。

钢筋混凝土地圈梁1（圈1)→钢筋混凝土地圈梁2（圈2)。

基础及室内回填土1（填1)→基础及室内回填土2（填2)。

参照以上逻辑关系绘制基础工程双代号网络计划，如图4-35所示。

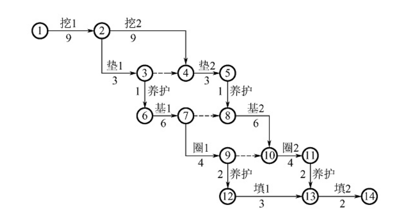


图 4-35 基础工程双代号网络计划

4.2.2 单代号网络图的绘制

1. 绘制规则

(1) 必须正确表达已定的逻辑关系。

(2) 在单代号网络图中，严禁出现循环回路。

(3) 严禁出现带双向箭头或无箭头的连线。

(4) 严禁出现没有箭头节点或没有箭尾节点的箭线。

(5) 尽可能在构图时避免交叉，不可避免时，可采用过桥法或断桥法，如图 4－36 所示。

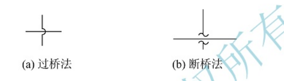


图 4－36 单代号网络图中交叉处的表示方法

(6) 只允许有一个起点节点、一个终点节点，必要时可在两端设置虚拟的起点节点和终点节点。

(7) 不允许出现有重复编号的工作，一个编号只能代表一项工作，且箭头编号大于箭尾编号。

2. 绘制方法

(1) 提供逻辑关系表。

(2) 用矩阵图确定紧后工作。

(3) 绘制没有紧前工作的工作，当有多个起点节点时，应在网络图的始端设置一项虚拟的起点节点。

(4) 依次绘制其他各项工作，一直到终点节点。当有多个终点节点时，应在网络图的终端设置一项虚拟的终点节点。



【单代号网络图答案】

【动动手】请对图 4－1 绘制对应的单代号网络图。

4.3 双代号网络计划时间参数的计算

4.3.1 时间参数的概念

1. 工作持续时间

工作持续时间是指一项工作从开始到完成的时间，用 D 表示，其计算方法有以下几种。

（1）参照以往实践经验估算。

（2）经过试验推算。

（3）有标准可查，按定额计算。

2. 工期

工期是指完成一项工作所需要的时间，一般有以下三种类型。

（1）计算工期：指根据时间参数计算所得的工期，用 T_c表示。

（2）要求工期：指任务委托人提出的指令性工期，用 T_r表示。

（3）计划工期：指根据要求工期和计算工期确定的作为实施目标的工期，用 T_p表示。当规定了要求工期时，$T_p \leqslant T_r$；当未规定要求工期时，$T_p = T_c$。

3. 工作时间参数

网络计划中工作的时间参数有6个：最早开始时间、最迟开始时间、最早完成时间、最迟完成时间、总时差、自由时差。

1）最早开始时间和最早完成时间

（1）工作最早开始时间，是指各紧前工作全部完成后，本工作有可能开始的最早时刻，用 ES 表示。

（2）工作最早完成时间，是指各紧前工作完成后，本工作有可能完成的最早时刻，用 EF 表示。

2）最迟开始时间和最迟完成时间

（1）工作最迟完成时间，是指在不影响整个任务按期完成的前提下，工作必须完成的最迟时刻，用 LF 表示。

（2）工作的最迟开始时间，是指在不影响整个任务按期完成的前提下，工作必须开始的最迟时刻，用 LS 表示。

3）总时差和自由时差

（1）工作总时差，是指在不影响总工期的前提下，本工作可以利用的机动时间，用 TF 表示，如图4-37所示。

注意工作总时差并不等于该工作所在线路的线路时差。

（2）工作自由时差，是指在不影响其紧后工作最早开始时间的前提下，本工作可以利用的机动时间，用 FF 表示，如图4-38所示。

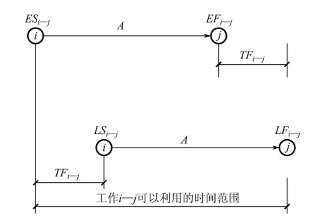


图4-37 工作总时差示意

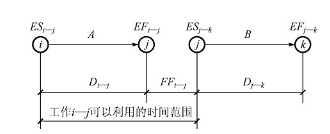


图4-38 工作自由时差示意

4. 节点时间参数

1）节点最早时间

节点最早时间，是指双代号网络计划中，以该节点 i 为开始节点的各项工作的最早开始时间，用 ET_i 表示。

2）节点最迟时间

节点最迟时间，是指双代号网络计划中，以该节点 i 为完成节点的各项工作的最迟完成时间，用 LT_i 表示。

5. 常用符号

D_{i-j}——i—j 工作的持续时间；

ES_{i-j}——i—j 工作的最早开始时间；

LS_{i-j}——i—j 工作的最迟开始时间；

EF_{i-j}——i—j 工作的最早完成时间；

LF_{i-j}——i—j 工作的最迟完成时间；

TF_{i-j}——i—j 工作的总时差；

FF_{i-j}——i—j 工作的自由时差；

ET_i——i 节点的最早时间；

ET_j——j 节点的最早时间；

LT_i——i 节点的最迟时间；

LT_j——j 节点的最迟时间。

4.3.2 时间参数的按工作计算法

双代号网络计划时间参数计算的目的，在于通过计算各项工作的时间参数确定网络计划的关键工作、关键线路和工期，为网络计划的优化、调整和执行提供明确的时间数据。双代号网络计划时间参数的计算方法很多，常用的有按工作计算法和按节点计算法，在计算方式上又有分析计算法、表上计算法、图上计算法、矩阵计算法和电算法等。本节主要介绍按工作计算法（含图上计算法的结果）。

1. 工作最早开始时间和最早完成时间

（1）工作 i—j 的最早开始时间 ES_{i-j} 的计算应符合下列规定。

① 应从网络计划的起点节点开始，顺箭线方向依次逐项计算。

② 以起点节点为开始节点的工作 i—j，当未规定其最早开始时间 ES_{i-j} 时，其值应等于零，即 $ES_{i-j}=0$（$i=1$）。

③ 当工作只有一项紧前工作时，其最早开始时间应为

$$ES_{i-j}=ES_{h-i}+D_{h-i}=EF_{h-i} \tag{4-1}$$

④ 当工作有多个紧前工作时，其最早开始时间应为

$$ES_{i-j}=\max\{ES_{h-i}+D_{h-i}\}=\max\{EF_{h-i}\} \tag{4-2}$$

（2）各项工作的最早完成时间等于最早开始时间加上工作持续时间，即

$$EF_{i-j}=ES_{i-j}+D_{i-j} \tag{4-3}$$

这类时间参数受起点节点的控制。其计算程序是：自起点节点开始，顺着箭线方向，用累加的方法计算到终点节点。即沿线累加，逢圈取大。

2. 确定网络计划工期

当网络计划规定了要求工期时：

$$T_p \leqslant T_r \tag{4-4}$$

当网络计划未规定要求工期时：

$$T_p = T_c = \max\{EF_{i-n}\} \tag{4-5}$$

3. 最迟开始时间和最迟完成时间

（1）各工作的最迟开始时间等于其最迟完成时间减去工作持续时间，即

$$LS_{i-j} = LF_{i-j} - D_{i-j} \tag{4-6}$$

（2）工作 i—j 的最迟完成时间 LF_{i-j} 的计算应符合下列规定。

① 应从网络计划的终点节点开始，逆着箭线方向依次逐项计算。

② 以终点节点（$j=n$）为箭头节点的工作最迟完成时间 LF_{i-n}，应按网络计划的计划工期 T_p 确定，即

$$LF_{i-n} = T_p \tag{4-7}$$

③ 其他工作 i—j 的最迟完成时间 LF_{i-j} 应按式(4-8)计算。

$$LF_{i-j} = \min\{LF_{j-k} - D_{j-k}\} = \min\{LS_{j-k}\} \tag{4-8}$$

这类时间参数受终点节点（即计算工期）的控制。其计算程序是：自终点节点开始，逆着箭线方向，用累减的方法计算到起点节点。即逆线累减，逢圈取小。

4. 计算各工作总时差

工作总时差等于最迟开始时间减去最早开始时间，或最迟完成时间减去最早完成时间，可概括为"迟早相减，所得之差"，即

$$TF_{i-j} = LS_{i-j} - ES_{i-j} \tag{4-9}$$

$$TF_{i-j} = LF_{i-j} - EF_{i-j} \tag{4-10}$$

总时差有以下特征。

（1）总时差最小的工作即为关键工作，由关键工作构成的线路即为关键线路，关键线路上各工作时间之和即为总工期。

（2）当网络计划的计划工期等于计算工期时，总时差为零的工作即为关键工作，也就是可用时间参数判断关键线路。

（3）总时差的使用具有双重性，它既可以被该工作使用，又属于某些非关键线路所共有。

（4）工序总时差，并不等于该工序所在线路的线路时差。

5. 计算各工作自由时差

工作自由时差，等于紧后工作最早开始时间减去本工作最早完成时间。其计算方法如下。

（1）当工作有紧后工作时，该工作的自由时差等于紧后工作的最早开始时间减本工作最早完成时间，即

$$FF_{i-j} = ES_{j-k} - EF_{i-j} \tag{4-11}$$

或

$$FF_{i-j} = ES_{j-k} - ES_{i-j} - D_{i-j} \tag{4-12}$$

（2）以终点节点（$j=n$）为箭头节点的工作，其自由时差应该按照网络计划的计划工期 T_p 确定，即

$$FF_{i-n}=T_p-EF_{i-n} \qquad (4-13)$$

或

$$FF_{i-n}=T_p-ES_{i-n}-D_{i-n} \qquad (4-14)$$

自由时差有以下特征。

(1) 并非所有工作都拥有自由时差，只有非关键线路上的最后一个工作或两条线路相交节点的紧前工作，才可能具有自由时差。



【工作计算法】

(2) 任一线路的线路时差，等于该线路上各工作自由时差之和。

(3) 自由时差为某非关键工作独立使用的机动时间，利用自由时差，不会影响其紧后工作的最早开始时间。

(4) 非关键工作的自由时差，必小于或等于其总时差。

【例 4-3】 某网络计划资料见表 4-5，试绘制其双代号网络计划。若计划工期等于计算工期，试计算各项工作的六个时间参数并确定关键线路，标注在网络计划上。

表 4-5　网络计划资料

工作名称	A	B	C	D	E	F	H	G
紧前工作	—	—	B	B	A、C	A、C	D、F	D、E、F
持续时间/天	4	2	3	3	5	6	5	3

【解】 (1) 根据已知条件，按照网络图的绘图规则绘制双代号网络图，如图 4-39 所示。

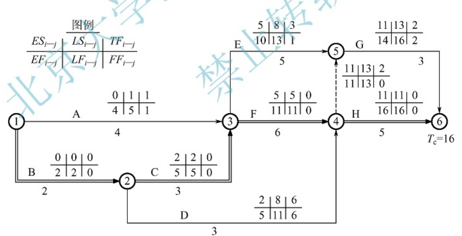


图 4-39　例 4-3 的双代号网络图

(2) 计算各项工作的时间参数，并将计算结果标注在箭线上方相应的位置。

① 计算各项工作的最早开始时间和最早完成时间：从起点节点（①节点）开始，顺着箭线方向依次逐项计算到终点节点（⑥节点）。

a. 以网络计划起点节点为开始节点的各工作的最早开始时间为零，即

$$ES_{1-2}=ES_{1-3}=0$$

b. 计算各项工作的最早开始和最早完成时间如下。

$EF_{1-2}=ES_{1-2}+D_{1-2}=0+2=2$

$EF_{1-3}=ES_{1-3}+D_{1-3}=0+4=4$

$ES_{2-3}=ES_{2-4}=EF_{1-2}=2$

$EF_{2-3}=ES_{2-3}+D_{2-3}=2+3=5$

$EF_{2-4}=ES_{2-4}+D_{2-4}=2+3=5$

$ES_{3-4}=ES_{3-5}=\max[EF_{1-3}, \mathrm{EF}_{2-3}]=\max[4,5]=5$

$EF_{3-4}=ES_{3-4}+D_{3-4}=5+6=11$

$EF_{3-5}=ES_{3-5}+D_{3-5}=5+5=10$

$ES_{4-6}=ES_{4-5}=\max[EF_{3-4}, EF_{2-4}]=\max[11,5]=11$

$EF_{4-6}=ES_{4-6}+D_{4-6}=11+5=16$

$EF_{4-5}=11+0=11$

$ES_{5-6}=\max[EF_{3-5}, EF_{4-5}]=\max[10,11]=11$

$ES_{5-6}=11+3=14$

将以上计算结果标注在图 4-39 中的相应位置。

② 确定计算工期 T_c 及计划工期 T_p。

计算工期为

$$T_c=\max[EF_{5-6}, EF_{4-6}]=\max[14,16]=16$$

已知计划工期等于计算工期，即

$$T_p=T_c=16$$

③ 计算各项工作的最迟开始时间和最迟完成时间：从终点节点（⑥节点）开始，逆着箭线方向依次逐项计算到起点节点（①节点）。

a. 以网络计划终点节点为箭头节点的工作的最迟完成时间等于计划工期，即

$$LF_{4-6}=LF_{5-6}=16$$

b. 计算各项工作的最迟开始和最迟完成时间如下。

$LS_{4-6}=LF_{4-6}-D_{4-6}=16-5=11$

$LS_{5-6}=LF_{5-6}-D_{5-6}=16-3=13$

$LF_{3-5}=LF_{4-5}=LS_{5-6}=13$

$LS_{3-5}=LF_{3-5}-D_{3-5}=13-5=8$

$LS_{4-5}=LF_{4-5}-D_{4-5}=13-0=13$

$LF_{2-4}=LF_{3-4}=\min[LS_{4-5}, LS_{4-6}]=\min[13,11]=11$

$LS_{2-4}=LF_{2-4}-D_{2-4}=11-3=8$

$LS_{3-4}=LF_{3-4}-D_{3-4}=11-6=5$

$LF_{1-3}=LF_{2-3}=\min[LS_{3-4}, LS_{3-5}]=\min[5,8]=5$

$LS_{1-3}=LF_{1-3}-D_{1-3}=5-4=1$

$LS_{2-3}=LF_{2-3}-D_{2-3}=5-3=2$

$LF_{1-2}=\min[LS_{2-3}, LS_{2-4}]=\min[2,8]=2$

$LS_{1-2}=LF_{1-2}-D_{1-2}=2-2=0$

④ 计算各项工作的总时差 TF_{i-j}：可以用工作的最迟开始时间减去最早开始时间，或用工作的最迟完成时间减去最早完成时间，即

$$TF_{1-2}=LS_{1-2}-ES_{1-2}=0-0=0$$

或

$$TF_{1-2}=LF_{1-2}-EF_{1-2}=2-2=0$$
$$TF_{1-3}=LS_{1-3}-ES_{1-3}=1-0=1$$
$$TF_{2-3}=LS_{2-3}-ES_{2-3}=2-2=0$$
$$TF_{2-4}=LS_{2-4}-ES_{2-4}=8-2=6$$
$$TF_{3-4}=LS_{3-4}-ES_{3-4}=5-5=0$$
$$TF_{3-5}=LS_{3-5}-ES_{3-5}=8-5=3$$
$$TF_{4-6}=LS_{4-6}-ES_{4-6}=11-11=0$$
$$TF_{5-6}=LS_{5-6}-ES_{5-6}=13-11=2$$

将以上计算结果标注在图 4－39 中的相应位置。

⑤ 计算各项工作的自由时差 FF_{i-j}：该值等于紧后工作的最早开始时间减去本工作的最早完成时间，即

$$FF_{1-2}=ES_{2-3}-EF_{1-2}=2-2=0$$
$$FF_{1-3}=ES_{3-4}-EF_{1-3}=5-4=1$$
$$FF_{2-3}=ES_{3-5}-EF_{2-3}=5-5=0$$
$$FF_{2-4}=ES_{4-6}-EF_{2-4}=11-5=6$$
$$FF_{3-4}=ES_{4-6}-EF_{3-4}=11-11=0$$
$$FF_{3-5}=ES_{5-6}-EF_{3-5}=11-10=1$$
$$FF_{4-6}=T_p-EF_{4-6}=16-16=0$$
$$FF_{5-6}=T_p-EF_{5-6}=16-14=2$$

将以上计算结果标注在图 4－39 中的相应位置。

(3) 确定关键工作及关键线路。在图 4－39 中最小的总时差是 0，所以凡总时差为 0 的工作均为关键工作。本例中的关键工作是：①—②，②—③，③—④，④—⑥（或关键工作是 B、C、F、H）。

在图中自始至终全由关键工作组成的关键线路是：①—②—③—④—⑥。关键线路用双箭线进行标注，如图 4－39 所示。

4.3.3 时间参数的节点计算法

1. 节点最早时间

节点的最早时间，是以该节点为开始节点的工作的最早开始时间，其计算方法如下。

(1) 起点节点 i 如未规定最早时间，其值应等于零，即

$$ET_i=0 \quad (i=1) \tag{4-15}$$

(2) 当节点 j 只有一条内向箭线时，最早时间应为

$$ET_j=ET_i+D_{i-j} \tag{4-16}$$

(3) 当节点 j 有多条内向箭线时，其最早时间应为

$$ET_j = \max\{ET_i + D_{i-j}\} \qquad (4-17)$$

(4) 终点节点 n 的最早时间即为网络计划的计算工期，即

$$T_c = ET_n \qquad (4-18)$$

2. 节点最迟时间

节点最迟时间，是以该节点为完成节点的工作的最迟完成时间，其计算方法如下。

(1) 终点节点的最迟时间应等于网络计划的计划工期，即

$$LT_n = T_p \qquad (4-19)$$

(2) 当节点 i 只有一个外向箭线时，其最迟时间为

$$LT_i = LT_j - D_{i-j} \qquad (4-20)$$

(3) 当节点 i 有多条外向箭线时，其最迟时间为

$$LT_i = \min\{LT_j - D_{i-j}\} \qquad (4-21)$$

计算口诀：节点最早时间“沿线累加，逢圈取大”；节点最迟时间“逆线累减，逢圈取小”。

3. 根据节点时间参数计算工作时间参数

(1) 工作的最早开始时间，等于该工作的开始节点的最早时间，即

$$ES_{i-j} = ET_i \qquad (4-22)$$

(2) 工作的最早完成时间，等于该工作的开始节点的最早时间加上持续时间，即

$$EF_{i-j} = ET_i + D_{i-j} \qquad (4-23)$$

(3) 工作的最迟完成时间，等于该工作的完成节点的最迟时间，即

$$LF_{i-j} = LT_j \qquad (4-24)$$

(4) 工作的最迟开始时间，等于该工作的完成节点的最迟时间减去持续时间，即

$$LS_{i-j} = LT_j - D_{i-j} \qquad (4-25)$$

(5) 工作的总时差，等于该工作的完成节点最迟时间减去该工作开始节点的最早时间后再减去持续时间，即

$$TF_{i-j} = LT_j - ET_i - D_{i-j} \qquad (4-26)$$

(6) 工作自由时差，等于该工作的完成节点最早时间减去该工作开始节点的最早时间后再减去持续时间，即



$$FF_{i-j} = ET_j - ET_i - D_{i-j} \qquad (4-27)$$



【节点计算法】

【动动手】某双代号网络图及其节点参数计算结果如图 4-40 所示，时间单位为天。

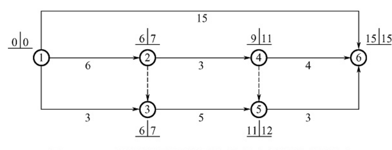


图 4-40　某双代号网络图及其节点参数计算结果

【节点参数换算答案】

试计算工作②—④的六个时间参数。

【例 4－4】在例 4－2 的基础上，计算双代号网络图的六个时间参数。

【解】其计算结果如图 4－41 所示。

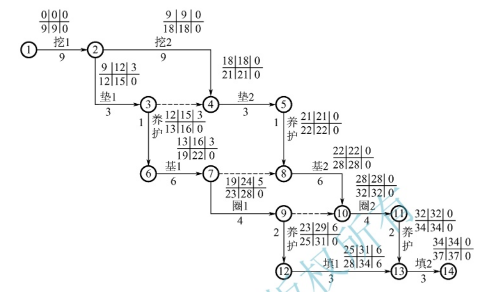


图 4－41　时间参数的计算结果

4.3.4　关键工作和关键线路的确定

1. 关键工作

总时差最小的工作就是关键工作。当计算工期等于计划工期时，总时差为零的工作就是关键工作。

2. 关键线路

自始至终全部由关键工作组成的线路，或线路上总的工作持续时间最长的线路，即为关键线路。网络图上的关键线路可用双线或粗线标注。

在双代号网络图中，如果要快速找到关键线路确定计划工期，可用标号法进行判断。

利用标号法时，起点节点的标号值为 0，其他节点的标号值等于以该节点为完成节点的各项工作的开始节点标号值加其持续时间所得之和的最大值。标号宜采用双标号法，即用源节点（得出标号值的节点）号作为第一标号，用标号值作为第二标号。图 4－42 所示为标号的计算结果，其计算工期为终点节点的标号值；自终点节点开始，逆着箭线跟踪源节点即可确定关键线路。本例中，从终点节点⑥开始跟踪源节点分别找到⑤、④、③、②、①，即得关键线路为①—②—③—④—⑤—⑥。

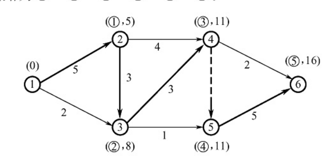


图 4－42　标号法确定关键线路

【动动手】试运用标号法确定图 4－43 的关键线路和工期，单位为天。

【标号法答案】

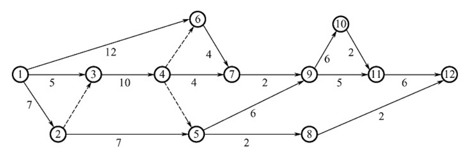


图 4－43　标号法习题图

【拓展】进行单代号网络计划时间参数的计算。

【单代号网络图时间参数计算】

4.4　双代号时标网络计划

双代号时标网络计划是以时间坐标为尺度编制的网络计划，简称时标网络计划。在时标网络计划中，箭线长短和所在位置即表示工作的时间进程，能由此清楚地看到一项任务的工期及其他参数。

1. 时标网络计划的特点

（1）在时标网络计划中，箭线的水平投影长度表示工作的持续时间。

（2）时标网络计划可以直接显示各项工作的时间参数和关键线路。

（3）可以直接在时标网络图的下方统计劳动力、材料、机具等资源的需用量，以便于绘制资源消耗动态曲线，也便于计划的控制和分析。

（4）时标网络计划在绘制中受到坐标的限制，因此不易产生循环回路之类的逻辑错误。

（5）由于箭线受到时间坐标的限制，修改和调整时标网络计划较烦琐。

2. 时标网络计划的绘制

1）时标网络计划绘制的一般规定

（1）时标网络计划必须以水平时间坐标为尺度表示工作时间，时间单位应根据需要在编制网络计划之前确定，可以是时、天、周、旬、月或季等。

（2）节点的中心必须对准时标的刻度线。

（3）时标网络计划应以实箭线表示工作，以虚箭线表示虚工作，以波形线表示工作的自由时差。

（4）虚工作必须以垂直虚箭线表示，有时差时加波形线表示。

2）时标网络计划的绘制方法

时标网络计划宜按最早时间绘制。其绘制方法有间接绘制法和直接绘制法两种。

（1）间接绘制法。间接绘制法是先计算网络计划的时间参数，再根据时间参数在时间坐标上进行绘制的方法。其绘制步骤和方法如下。

① 绘制网络计划草图，计算工作最早时间并标注在图上。

② 绘制时标计划表。

③ 根据各节点的最早时间，从起点节点开始将各节点逐个定位在时间坐标的纵轴上。

④ 依次在各节点后面按工作的时间长度绘出箭线长度，用垂直虚线表示虚工作。如箭线长度不足以达到工作的结束节点时，用波形线补足。

⑤ 标出关键线路。将时差为零的箭线从起点节点到终点节点连接起来，并用粗箭线、双箭线或彩色箭线表示，即形成时标网络计划的关键线路。

（2）直接绘制法。直接绘制法是不计算网络计划的时间参数，直接在时间坐标上进行绘制的方法。其绘制步骤和方法可归纳为如下口诀："时间长短坐标限，曲直斜平利相连；箭线到齐画节点，画完节点补波线；零线尽量拉垂直，否则安排有缺陷。"

① 时间长短坐标限。箭线的长度代表着具体的施工时间，受到时间坐标的制约。



【时标网络计划绘制】

② 曲直斜平利相连。箭线的表达方式可以是直线、折线、斜线等，但布图应合理、直观清晰。

③ 箭线到齐画节点。工作的开始节点必须在该工作的全部紧前工作都画出后，定位在这些紧前工作最晚完成的时间刻度上。

④ 画完节点补波线。某些工作的箭线长度不足以达到其完成节点时，用波形线补足。

⑤ 零线尽量拉垂直。虚工作持续时间为零，应尽可能让其为垂直线。

⑥ 否则安排有缺陷。如出现虚工作占据时间的情况，其原因是工作面停歇或施工作业队组工作不连续。

【例 4－5】 已知某网络计划的有关资料如表 4－6 所列，试用间接绘制法绘制其时标网络计划。

表 4－6　某网络计划的有关资料

工　作	A	B	C	D	E	G	H
持续时间	9	4	2	5	6	4	5
紧前工作	—	—	—	B	B、C	D	D、E

【解】（1）绘出时标网络计划，并用标号法确定关键线路，如图 4－44 所示。

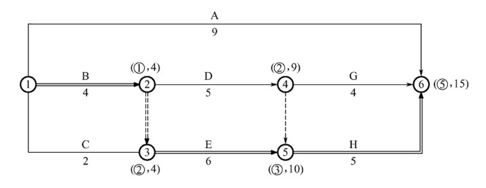


图 4－44　时标网络计划

（2）按时间坐标绘制关键线路，如图 4－45 所示。

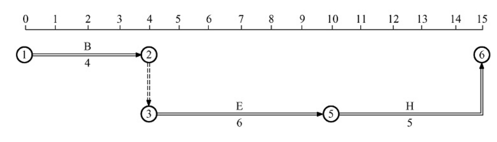


图 4－45 画出时标网络计划的关键线路

（3）绘制非关键线路，如图 4－46 所示。

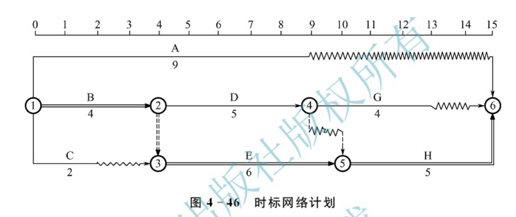


图 4－46 时标网络计划

【例 4－6】试用直接绘制法绘制例 4－5 的时标网络计划。

【解】（1）将网络计划起始节点定位在时标表的起始刻度“0”的位置上，起始节点的编号为 1，如图 4－47 所示。

（2）绘出工作 A、B、C，如图 4－47 所示。

图 4－47 直接绘制法第一步

（3）除网络计划的起点节点外，其他节点必须在所有以该节点为完成节点的工作箭线均绘出后，定位在这些工作箭线中最迟的箭线末端。当某些工作箭线的长度不足以到达该节点时，须用波形线补足，箭头画在与该节点连接处，如图 4－48 所示。

（4）当某个节点的位置确定之后，即可绘制以该节点为开始节点的工作箭线，如工作 D、E。

（5）绘出工作 G、H，如图 4－49 所示。

（6）绘出网络计划终点节点，网络计划绘制完成，如图 4－50 所示。

图 4－48　直接绘制法第二步

图 4－49　直接绘制法第三步

图 4－50　直接绘制法第四步

【例 4－7】 在例 4－2 与例 4－4 的基础上，绘制其时标网络计划。

【解】 用直接绘制法绘制时标网络计划，如图 4－51 所示。

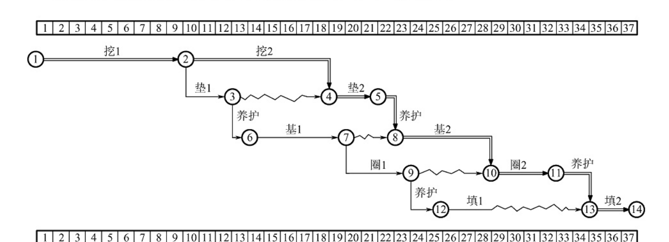


图 4－51　基础工程双代号时标网络计划

3. 时标网络计划时间参数的判读

1）计算工期的确定

时标网络计划的计算工期，等于终点节点与起点节点所在位置的时标值之差。

2）关键线路的确定

从时标网络计划的终点节点向起点节点观察，凡自始至终不出现波形线的线路即为关键线路。图4－51中双箭线所示的线路即为关键线路。

3）工作最早时间的确定

（1）工作最早开始时间。每条箭线左端节点中心所对应的时标值，为该工作的最早开始时间。

（2）工作最早完成时间。箭线实线部分右端或当工作无自由时差时箭线右端节点中心所对应的时标值，为该工作的最早完成时间。

4）工作自由时差的确定

工作自由时差，等于其波形线在坐标轴上水平投影的长度。

5）工作总时差的计算

总时差不能从图上直接判定，需要进行计算。计算应自右向左进行。

以终点节点为箭头节点的工作，其总时差应等于计划工期与本工作最早完成时间之差，即

$$TF_{i-n}=T_p-EF_{i-n} \tag{4-28}$$

式中 TF_{i-n}——以网络计划终点节点为完成节点的工作的总时差；

T_p——网络计划的计划工期；

EF_{i-n}——以网络计划终点节点 n 为完成节点的工作的最早完成时间。

其他工作的总时差应为

$$TF_{i-j}=\min\{TF_{j-k}\}+FF_{i-j} \tag{4-29}$$

式中 TF_{i-j}——工作 $i—j$ 的总时差；

TF_{j-k}——工作 $i—j$ 的紧后工作 $j—k$ 的总时差；

FF_{i-j}——工作 $i—j$ 的自由时差。

6）工作最迟时间的计算

（1）工作的最迟开始时间等于本工作的最早开始时间与其总时差之和，即

$$LS_{i-j}=ES_{i-j}+TF_{i-j} \tag{4-30}$$

（2）工作的最迟完成时间等于本工作的最早完成时间与其总时差之和，即

$$LF_{i-j}=EF_{i-j}+TF_{i-j} \tag{4-31}$$

【时标网络计划参数判读】

例4－7中，各项工作的时间参数的判定结果见表4－7。

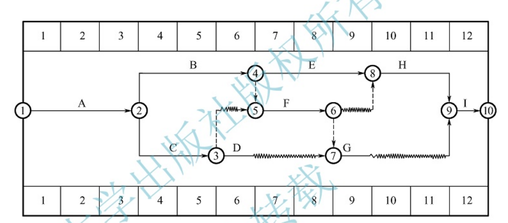
表4－7 各项工作的时间参数的判定结果

工作代号	工作名称	持续时间 D	最早开始时间 ES	最早完成时间 EF	自由时差 FF	总时差 TF	最迟开始时间 LS	最迟完成时间 LF
1—2	挖基槽1	9	0	9	0	0	0	9
2—3	混凝土垫层1	3	9	12	0	3	12	15
2—4	挖基槽2	9	9	18	0	0	9	18

续表

工作代号	工作名称	持续时间 D	最早开始时间 ES	最早完成时间 EF	自由时差 FF	总时差 TF	最迟开始时间 LS	最迟完成时间 LF
4—5	混凝土垫层 2	3	18	21	0	0	18	21
6—7	砖基础 1	6	13	19	0	3	16	22
8—10	砖基础 2	6	22	28	0	0	22	28
7—9	地圈梁 1	4	19	23	0	5	24	28
10—11	地圈梁 2	4	28	32	0	0	28	32
12—13	回填土 1	3	25	28	6	6	31	34
14—15	回填土 2	3	34	37	0	0	34	37

【动动手】请判读图 4－52 中工作 F 的六个时间参数，时间单位为周。





【时标参数判读】

图 4－52　某工程时标网络计划（时间单位：周）

4. 横道图与网络计划特点的对比分析

1）横道图的优缺点

（1）横道图的优点：简单明了，直观易懂，容易掌握，便于检查和计算资源需求状况。

（2）横道图的缺点如下。

① 不能全面而明确地表达出各项工作开展的先后顺序及反映出各项工作之间的相互制约和相互依赖的关系。

② 不能在名目繁多、错综复杂的计划中找出决定工程进度的关键工作，不便于抓主要矛盾、确保工期、避免盲目施工。

③ 难以在有限的资源下合理组织施工、挖掘计划的潜力。

④ 不能准确评价计划经济指标。

⑤ 不能应用现代化计算技术。

2）网络计划的优缺点

（1）网络计划的优点如下。

① 应用网络图形可以表达一项计划（或工程）中各项工作的开展顺序及其相互之间的关系。

② 通过对网络图进行时间参数的计算，可找出计划中的关键工作和关键线路。

③ 通过不断改进网络计划，可寻求最优方案。

④ 在计划执行过程中可对计划进行有效的控制与监督，保证合理地使用人力、物力和财力，以最小的消耗取得最大的经济效果。

（2）网络计划的缺点：计算资源消耗量不如横道图方便。

【案例】长沙×××项目双螺旋体观景平台吊装工艺



【应用实例】

1. 项目概况

双螺旋观景台为世界最大双螺旋钢结构，是长沙梅溪湖城市岛上的标志性建筑物，高约34m，最大直径约86m，由两条相互环绕、螺旋上升的环形通道连接着一列密集的柱廊。螺旋体斜立柱共32根，立柱与水平面的夹角为62.02°，相邻立柱在平面上的投影夹角为11.25°，相邻斜立柱之间以直径30mm钢棒连接，保证了结构的稳定性。斜立柱为箱形变截面，材质为Q345B，截面宽300mm，截面高为变截面，翼缘厚度为35mm，腹板厚度为28mm。32根斜立柱为螺旋体结构的主要支撑体系，对其制作质量及外观均有较高要求。内环道和外环道通过三角支撑板和箱形连接件与钢柱形成整体，连接件标高随着内外环道走势进行变化。四周钢柱为倾斜钢柱，32根均匀围绕一圈布置，如图4－53和图4－54所示。

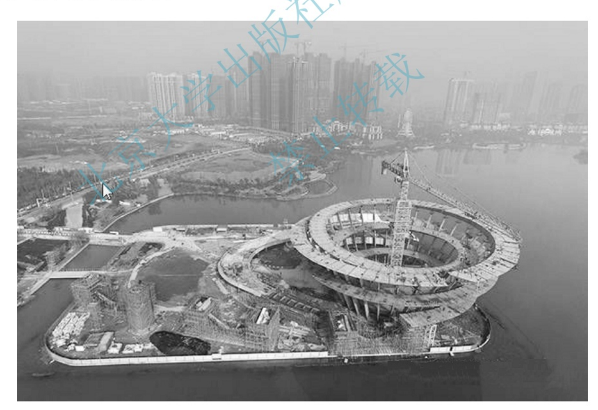


图4－53 双螺旋体施工现场

2. 安装步骤

螺旋体钢结构主要采用“地面散件拼装，分段整体吊装，单元高空组装”的方法进行安装。拟采用一台ST80/75塔式起重机（60m臂长）完成施工，采用两台25t汽车吊在环岛内负责螺旋体构件的拼装，一台25t汽车吊负责构件转运。施工顺序主要为：首节钢柱安装（包括柱脚）→第二节钢柱安装→柱间钢棒安装并紧固→第二节钢柱内环道节段安装→第

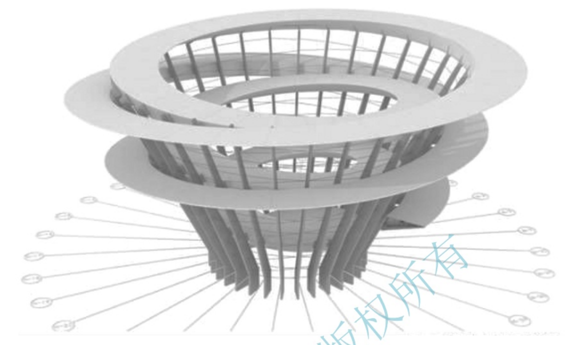
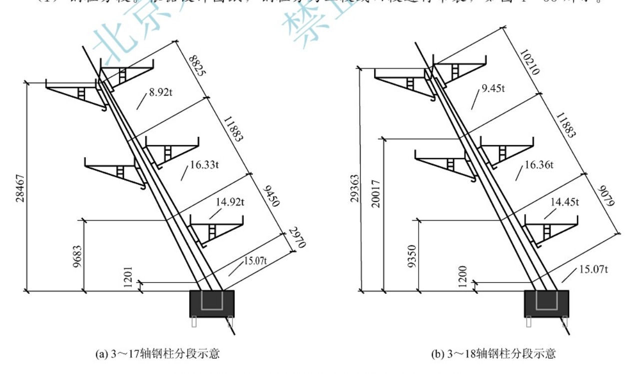


图 4－54　双螺旋体钢结构分布图

二节钢柱外环道节段安装→第三节钢柱安装并紧固→柱间钢棒安装→第三节钢柱内环道节段安装→第三节钢柱外环道节段安装→柱顶环道安装（根据设计意见，柱间钢棒起防止钢柱侧向变形的作用，在施工完成后应保证不受压力，故在施工过程中紧固钢棒、保证钢棒无压应力即满足设计要求）。

3. 吊装分段

（1）钢柱分段。根据设计图纸，钢柱分为三段或四段进行吊装，如图 4－55 所示。



(a) 3～17轴钢柱分段示意　　(b) 3～18轴钢柱分段示意

图 4－55　双螺旋体钢柱分段示意（单位：mm）

（2）螺旋环道分段。为顾及螺旋环道的吊装整体系统，环道分段时以环道三角支撑的中心线（即两块三角板之间的中心线）为分割线，将环道切成一段段整体三角梁段（最重节段约 25.8t），具体分段示意如图 4－56～图 4－58 所示。

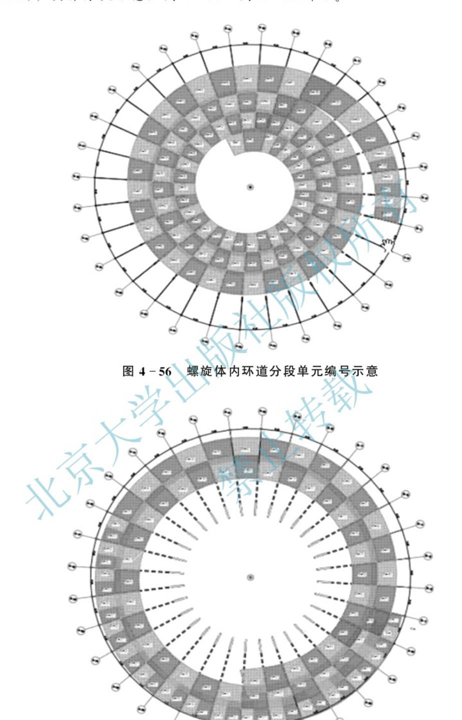


图 4－56 螺旋体内环道分段单元编号示意

图 4－57 螺旋体外环道分段单元编号示意

4. 进度模拟

计算机模拟的螺旋体结构施工工艺流程如图 4－59 所示。

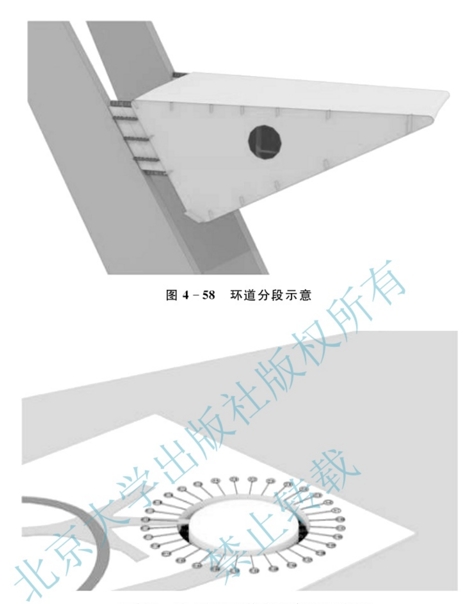
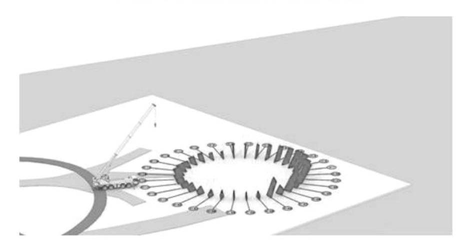


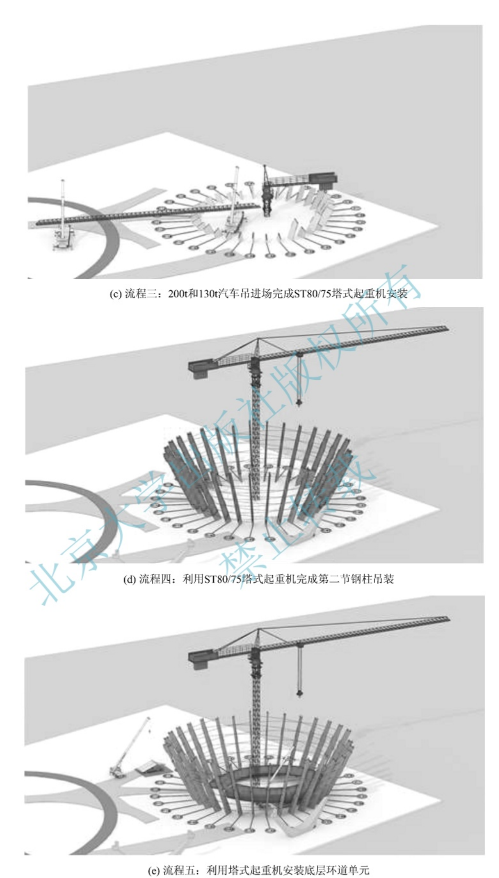
图 4－58　环道分段示意

(a) 流程一：在土建基坑开挖过程中完成预埋件施工



(b) 流程二：进场80t汽车吊，完成第一节柱脚施工

图 4－59　螺旋体结构施工工艺流程

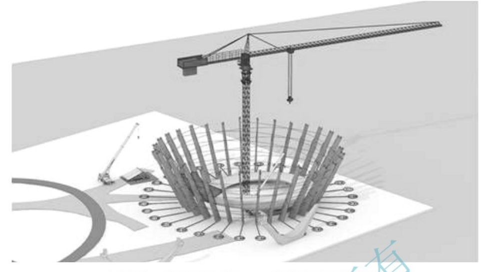


(c) 流程三：200t和130t汽车吊进场完成ST80/75塔式起重机安装

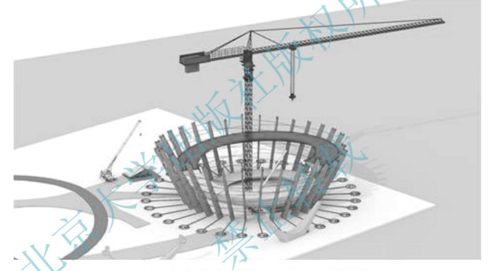
(d) 流程四：利用ST80/75塔式起重机完成第二节钢柱吊装

(e) 流程五：利用塔式起重机安装底层环道单元

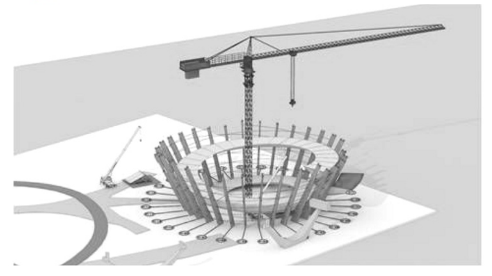
图 4－59　螺旋体结构施工工艺流程（续）



(f) 流程六：顺时针依次安装21～16轴轴线之间的环道单元

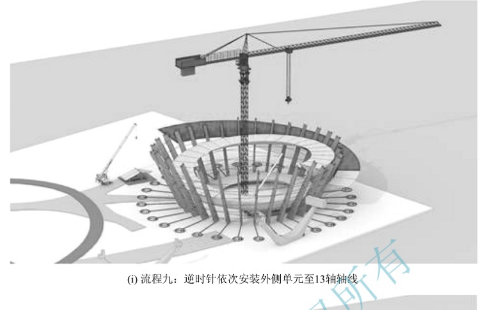


(g) 流程七：依次安装内环道单元至28轴与29轴轴线之间



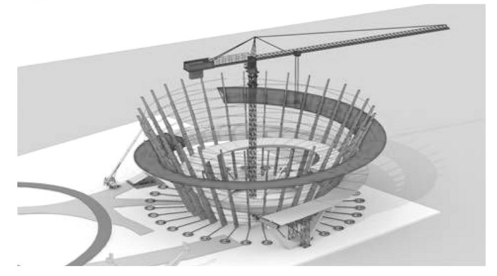
(h) 流程八：安装31轴与32轴轴线之间的外环道单元

图 4－59　螺旋体结构施工工艺流程（续）



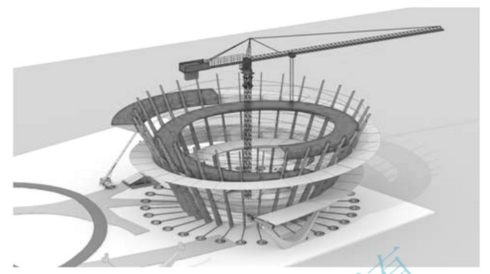
(i) 流程九：逆时针依次安装外侧单元至13轴轴线

(j) 流程十：进场200t汽车吊安装第一节桥段单元，完成第三节钢柱安装

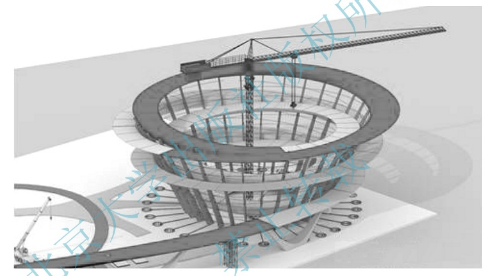


(k) 流程十一：安装外环道单元至10轴轴线

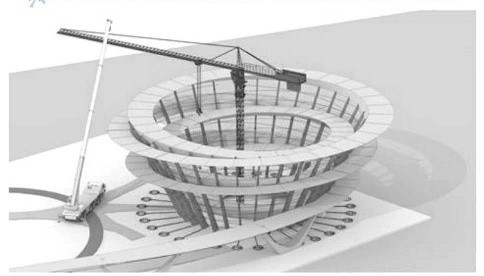
图 4－59　螺旋体结构施工工艺流程（续）



(l) 流程十二：塔式起重机安装内环道单元至25～26轴轴线，安装外环道单元至17～18轴轴线

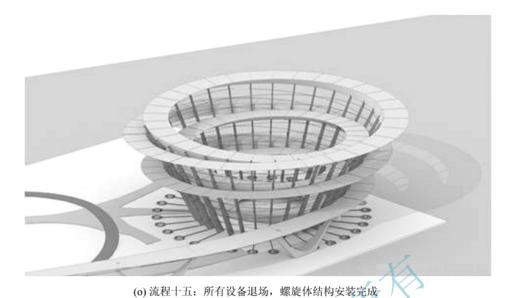


(m) 流程十三：200t汽车吊进场安装人行天桥桥面，塔式起重机完成柱顶所有环道单元安装



(n) 流程十四：进场260t汽车吊拆除塔式起重机

图 4－59　螺旋体结构施工工艺流程（续）



(o) 流程十五：所有设备退场，螺旋体结构安装完成

图 4－59　螺旋体结构施工工艺流程（续）

5. 关键工序

（1）坡道单元地面拼装。螺旋体环形坡道拟采用“地面整体拼装，单元高空组装”的方法进行安装。根据施工分段，坡道纵向宽度大于 4m 的节段需在制作厂分为两段，然后运输至现场进行地面整体拼装。坡道拼装胎架的设计，拟采用尺寸为 5.6m×1.3m×0.14m 的路基箱和 HW200mm×8mm×10mm 的型钢及枕木组装而成。为了确保螺旋体的施工进度，坡道施工时，现场拟同时设置 2 组拼装胎架，以保证坡道吊装的连续性，其中螺旋体中心拼装场地分别布置两台 25t 汽车吊，负责内环坡道的拼装。

环形坡道的拼装流程示意如图 4－60 所示。

(a) 第一节坡道节段拼装到位

(b) 第二节坡道节段拼装到位

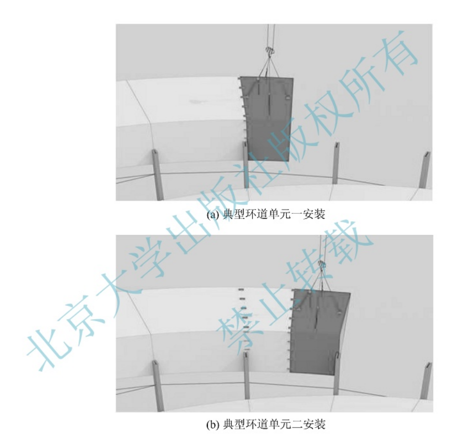
(c) 坡道节段测量校正及焊接

图 4－60　环形坡道的拼装流程示意

(2) 螺旋体悬挑环道安装。根据环道分段单元统计，编号 WH1～WH34、NH104～N109 的吊装单元需要在高空对接安装，其安装方法如图 4－61 所示。

① 典型环道单元一安装［图 4－61(a)］。待前一环道单元安装完成后，开始吊装悬挑环道单元。采用四点吊装法吊装，调校就位后将待安装环道与已安装结构用马板焊接牢固，待焊接完成环道斜面长度各 1/2 焊缝后塔式起重机方可松钩。

② 典型环道单元二安装［图 4－61(b)］。待前一环道单元安装完成后，吊装环道单元二。采用四点吊装法吊装，调校就位后立刻使用马板将环道单元一、单元二之间临时焊接，同时固定环道三角悬臂板与钢柱相连。待钢柱悬臂板焊接完成 1/2 后塔式起重机方可松钩；待完成所有焊接工作后割除两块环道单元上部马板。



(a) 典型环道单元一安装

(b) 典型环道单元二安装

图 4－61 螺旋体悬挑环道安装方法示意

(3) 螺旋体安装技术措施。

① 螺旋体钢柱安装。螺旋体吊装前提前放样，根据构件中心设置吊耳，安装前搭设好操作平台。吊装就位后，及时将钢柱对接处用临时连接板固定，两端同时拉设缆风绳，以保证钢柱稳定性，如图 4－62 所示。钢柱内部加劲肋通过焊接手孔完成焊接。

② 环道与钢柱连接措施。环道节段安装时，拟在钢柱箱形连接件上下端及环道三角支撑板上下端分别设置连接耳板，耳板之间拟用 M36 高强螺栓连接，通过两者之间的耳板对接来固定和定位各环道节段，同时相邻环道之间采用马板焊接。图 4－63 所示为环道单元安装示意。

环道单元就位调校步骤：环道吊装采用四点吊装法，如图 4－63(b) 所示，其中①④号吊耳设置在重心线上，为主受力吊耳，②③号吊耳与①④号吊耳垂直设置，为调节吊耳。环

道吊装至待安装位置处，调节①号倒链使得待就位环道单元与已安装环道单元上表面中心齐平，调节②号和③号倒链使得环道上表面与已安装环道单元齐平，同时调节三角悬臂板就位，立即使用马板将端部与已安装环道单元连接，并将三角悬臂板采用临时措施连接牢固。

(a) 钢柱对接连接措施

(b) 钢柱缆风绳拉设

图 4－62　螺旋体钢柱安装示意

(a) 柱间整块环道单元就位临时固定措施

(b) 环道单元吊装

图 4－63　环道单元安装示意

③ 吊装分析。螺旋体钢结构主要采用一台 ST80/75 塔式起重机（60m 臂长）完成吊装，该塔式起重机的起重性能见表 4－8。

表 4－8　ST80/75 塔式起重机 60m 臂展时起重性能

幅度/m	R(max)m	C(max)t	30	35	40	45	50	55	60
四倍率起重量/t	29.8	32.0	31.7	26.3	22.3	19.2	16.8	14.8	13.2

由图 4－64 可知，最重吊装单元为 3～8 轴轴线顶部环道单元，质量约 25.85t，吊装距离为 31.596m，根据塔式起重机性能参数表可知，塔式起重机在 35m 范围内起重量均为 26.3t（>25.85t），故满足吊装要求。

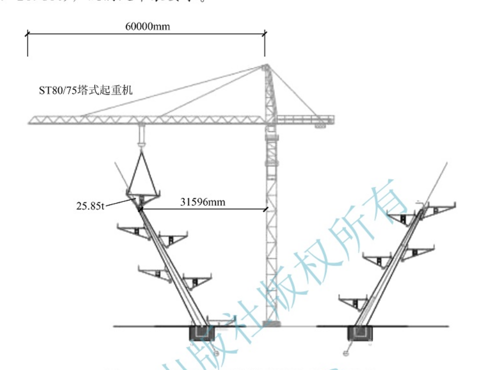


图 4－64　塔式起重机最重吊装单元吊装分析

由图 4－65 可知，最远位置吊装单元为 3～29 轴轴线顶部的环道单元，质量约 18.31t，吊装距离为 42.548m。根据塔式起重机性能参数表可知，塔式起重机在 45m 范围内起重量均为 19.2t（>18.31t），故亦满足吊装要求。

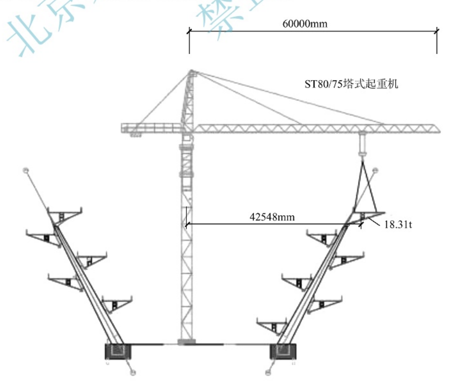


图 4－65　塔式起重机最远吊装单元吊装分析

小　结

网络图进度计划是建筑工程施工中广泛应用的现代化科学管理方法，主要用来编制工程项目施工的进度计划和建筑施工企业的生产计划，并通过对计划的优化、调整和控制，达到缩短工期、提高效率、节约劳动力、降低消耗的施工目标，是施工组织设计的重要组成部分，也是施工竣工验收的必备文件。

双代号网络图计划目前在国内使用较为普遍，在绘制网络图时必须遵循一定的基本规则和要求。网络计划时间参数是指网络计划、工作及节点所具有的各种时间值。对于双代号网络计划图，常计算六个时间参数，计算顺序是最早开始时间（由第一个工作向后计算，取最大）、最早完成时间（内部计算）、最迟完成时间（由最后一个工作向前计算，取最小）、最迟开始时间（内部计算）、总时差（最迟减最早，内部计算）、自由时差（由最后一个工作向前计算，取最小）。

要把握以下结论：任何一个工作的总时差大于或等于自由时差，自由时差等于各时间间隔的最小值（这点对六个参数的计算非常有用）；关键线路上相邻工作的时间间隔为零，且自由时差等于总时差；在网络计划中，计算工期是根据终点节点的最早完成时间的最大值而得出的，总时差＝最迟完成时间－尚需完成时间（计算结果若大于0，将不影响总工期；若小于0，则会影响总工期）；拖延时间＝总时差＋受影响工期，与自由时差无关。



习　题

一、思考题

1. 什么是网络图？什么是网络计划？

2. 什么是双代号网络图？什么是单代号网络图？

3. 工作和虚工作有什么不同？虚工作的作用有哪些？

4. 什么是逻辑关系？网络计划有哪两种逻辑关系？有何区别？

5. 简述网络图的绘制原则。

6. 节点位置号怎样确定？用它来绘制网络图有哪些优点？时标网络计划可用它来绘制吗？

7. 试述工作总时差和自由时差的含义及区别。

8. 什么是节点最早时间、节点最迟时间？

9. 什么是线路、关键工作、关键线路？

二、案例题

1. 试指出图4－66所示网络图的错误。

2. 根据表4－9中的网络图资料，试确定节点位置号，并绘出其双代号网络图和单代号网络图。

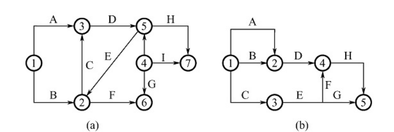


图 4-66　有错误的网络图

表 4-9　某网络图资料

工　　作	A	B	C	D	E	G	H
紧前工作	D、C	E、H	—	—	—	H、D	—

3. 某现浇钢筋混凝土工程由支模板、绑钢筋、浇筑混凝土三个分项工程组成，它们划分为四个施工段，各分项工程在各个施工段上的持续时间如图 4-67 所示。

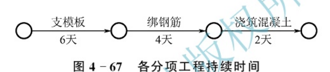


图 4-67　各分项工程持续时间

试绘制：①按工种排列的双代号网络图；②按施工段排列的双代号网络图。

4. 某双代号网络计划如图 4-68 所示，试绘制双代号时标网络计划。

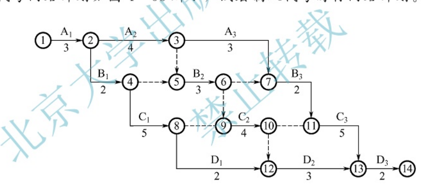


图 4-68　某双代号网络计划

三、岗位（执业）资格考试真题

（一）单项选择题

1. 相比横道图计划，网络计划具有的优点不包括（　　）。

A. 逻辑关系表达清楚　　　　B. 简单明了

C. 便于管理者抓住主要矛盾　　D. 能够应用计算机技术

2. 根据双代号网络图的绘制规则，对图 4-69 所示的双代号网络图，说法正确的是（　　）。

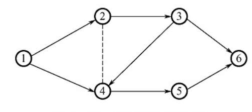


图 4-69　某双代号网络图

A. 表达正确　　B. 表达错误，有多余箭线

C. 表达错误，出现相同编号的工作　　D. 表达错误，出现循环回路

3. 某双代号网络图如图4－70所示，工作A的最早开始时间为0，持续时间为4天，工作C的最早开始时间为0，持续时间为3天，则工作D的最早开始时间为（　　）天。

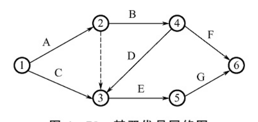


图4－70　某双代号网络图

A. 0　　B. 3　　C. 4　　D. 7

4. 双代号网络图时间参数计算时，工作总时差的计算方法是本工作（　　）时间减去本工作（　　）时间。

A. 最早完成；最早开始　　B. 最迟完成；最迟开始

C. 最迟开始；最早开始　　D. 最迟完成；最早开始

5. 双代号网络图时间参数计算时，工作自由时差的计算方法是（　　）时间减去本工作最早完成时间。

A. 本工作最迟开始　　B. 本工作最迟完成

C. 紧后工作最迟开始　　D. 紧后工作最早开始

6. 用按最早时间编制的双代号时标网络计划表示工程进度时，工作的自由时差用（　　）表示。

A. 实箭线　　B. 虚箭线　　C. 曲箭线　　D. 波形线

7. 用网络图表达任务构成、工作顺序并加注工作（　　）的进度计划称为网络计划。

A. 名称　　B. 节点编号　　C. 时间参数　　D. 持续时间

8. 对图4－71所示双代号网络图，工作D的紧前工作（　　）。

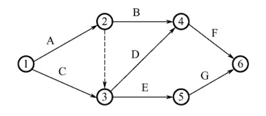


图4－71　某双代号网络图

A. 只有工作A　　B. 只有工作C

C. 有工作A和工作C　　D. 有工作A和工作B

9. 关于工程网络计划中的虚工作，说法错误的是（　　）。

A. 虚工作的工作持续时间为零　　B. 虚工作表示工作之间的逻辑关系

C. 虚工作不消耗资源　　D. 在双代号网络计划中不存在虚工作

10. 某网络计划中，工作A有两项紧后工作C和D，C、D工作的持续时间分别为12天、7天，C、D工作的最迟完成时间分别为第18天、第10天，则工作A的最迟完成时

间是第（　　）天。

A. 5　　B. 3　　C. 8　　D. 6

11. 某双代号网络计划如图 4-72 所示，其关键线路为（　　）。

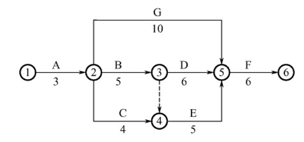
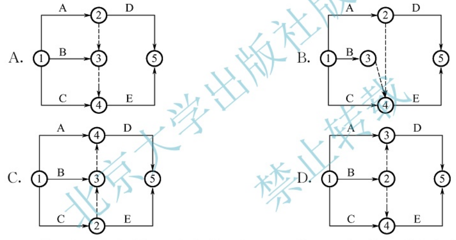


图 4-72　某双代号网络计划

A. ①—②—⑤—⑥　　B. ①—②—③—④—⑤—⑥

C. ①—②—④—⑤—⑥　　D. ①—②—③—⑤—⑥

12. 某工程有 A、B、C、D、E 五项工作，其逻辑关系为 A、B、C 完成后 D 开始，C 完成后 E 才能开始，则据此绘制的双代号网络图是（　　）。



13. 某工程双代号时标网络计划如图 4-73 所示，则工作 B 的自由时差和总时差（　　）。

A. 分别为 2 周和 4 周　　B. 均为 2 周

C. 均为 4 周　　D. 分别为 3 周和 4 周

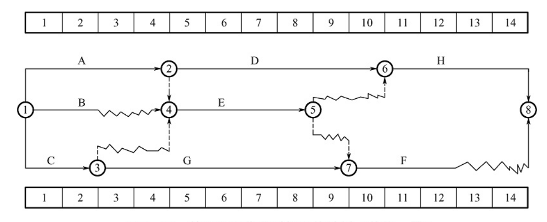


图 4-73　某工程双代号时标网络计划（单位：周）

14. 某双代号网络计划中，工作M的最早开始时间和最迟开始时间分别为第12天和第15天，其持续时间为5天；工作M有3项紧后工作，它们的最早开始时间分别为第21天、第24天和第28天，则工作M的自由时差为（　　）天。

A. 4　　B. 1　　C. 8　　D. 11

15. 某双代号网络图如图4－74所示（时间单位：天），某关键线路有（　　）条。

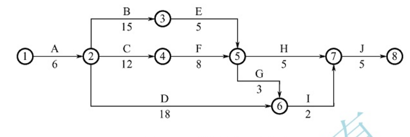


图4－74　某双代号网络图

A. 1　　B. 4　　C. 2　　D. 3

16. 根据表4－10所列逻辑关系绘制的双代号网络图如图4－75所示，存在的绘图错误是（　　）。

表4－10　已知逻辑关系

工作名称	A	B	C	D	E	G	H
紧前工作	—	—	A	A	A、B	C	E

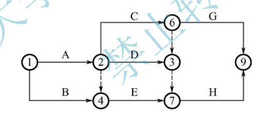


图4－75　双代号网络图

A. 节点编号不对　　B. 逻辑关系不对

C. 有多个终点节点　　D. 有多个起点节点

17. 某网络计划中，工作F有两项紧后的平行工作G和H，G的最迟开始时间是第12天，最早开始时间是第8天；H工作的最迟完成时间是第14天，最早完成时间是第12天；F工作和G、H之间的时间间隔分别为4天和5天。则F工作的总时差为（　　）。

A. 4天　　B. 5天　　C. 7天　　D. 8天

（二）多项选择题

1. 某钢筋混凝土基础工程，包括支模板、绑扎钢筋、浇筑混凝土三道工序，每道工序安排一个专业施工队分三段施工，各工序在一个施工段上的作业时间分别为3天、2天、1天，如图4－76所示。关于其施工网络计划的说法，正确的有（　　）。

A. 工作①—②是关键工作　　B. 只有一条关键线路

C. 工作⑤—⑥是非关键工作　　D. 节点⑤的最早时间是5

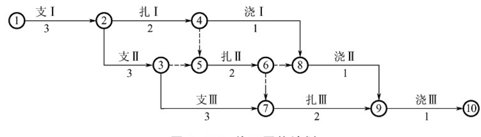


图 4－76　施工网络计划

E. 虚工作③—⑤是多余的

2. 某项目分部工程双代号时标网络计划如图 4－77 所示，关于该网络计划的说法，正确的是（　　）。

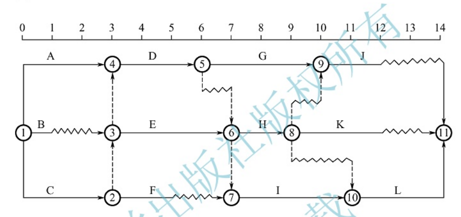


图 4－77　某项目分部工程双代号时标网络计划（时间单位：天）

A. 工作 C、E、I、L 组成关键线路

B. 工作 H 的总时差为 2 天

C. 工作 A、C、H、L 为关键工作

D. 工作 D 的总时差为 1 天

E. 工作 G 的总时差与自由时差相等



【单元4参考答案】

单元5 施工进度计划控制

施工员岗位工作标准

1. 能够参与施工进度计划控制。
2. 能进行施工进度计划检查与调整。

造价员岗位工作标准

具备从事一般建筑工程施工项目进度管理的能力。

知识目标

1. 了解影响施工进度计划的因素。
2. 熟悉施工进度计划控制的方法。
3. 掌握施工进度计划检查的方法。
4. 掌握工期索赔的程序。

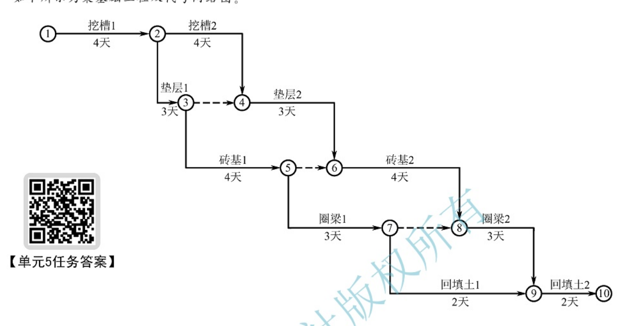
典型工作任务

任务描述	对基础工程的进度计划进行优化
考核时量	0.5 小时
设计条件及要求	

某基础工程划分为五个施工过程、两个施工段，施工单位制定了下图所示的双代号网络图。但应建设单位要求，该基础工程的工期为18天。经施工单位测算，下表中列举了工作可以压缩的时间及所需费用，施工单位只能以天为单位来压缩时间。请找寻最合理的压缩方式。

续表

如下所示为某基础工程双代号网络图。



相关参数表			
序号	工作名称	最大可压缩时间/天	赶工费用/(元/天)
1	挖槽 1	1	1000
2	挖槽 2	1	1000
3	垫层 1	1	600
4	垫层 2	1	600
5	砖基 1	不可压缩	—
6	砖基 2	不可压缩	—
7	圈梁 1	1	1300
8	圈梁 2	1	1300
9	回填土 1	不可压缩	—
10	回填土 2	不可压缩	—

施工进度计划经审批通过后，即可组织实施。但施工进度计划在实施过程中，必然会因为新情况的产生、各种干扰因素（资源、外部环境、自然条件等因素的变化或人为因素）和风险因素（不可预见事件的发生）的作用而发生变化，使其难以执行原定的计划，往往造成工程实际进度与计划进度产生偏差。如果这种偏差不能及时纠正，势必影响工程进度目标的实现。

为此，进度控制人员必须掌握动态控制原理，在计划执行过程中不断检查工程实际进展情况，并将实际情况与计划安排进行比较，找出偏离计划的信息，然后在分析偏差及其产生原因的基础上采取措施，使计划能正常实施。如果采取措施后不能维持原计划，则需

要对原计划进行调整或修改，再按新的进度计划实施。由此在进度计划的执行过程中不断进行检查和调整，以保证建设工程进度计划得到有效的实施和控制。

可见在施工进度计划的实施过程中，采取相应措施进行控制，对保证进度目标的顺利实现具有重要意义。

5.1 施工进度计划控制概述

建设工程项目是在动态条件下实施的，因此施工进度计划的控制也必须是一个动态的管理过程，它包括以下内容。

(1) 对进度目标的分析和论证，目的是论证进度目标是否合理、进度目标有没有可能实现。如果经过科学的论证，目标不可能实现，则必须调整目标。

(2) 在收集资料和调查研究的基础上编制进度计划。

(3) 进度计划的跟踪检查与调整，包括定期跟踪检查所编制进度计划的执行情况，若其执行有偏差，即采取纠偏措施，并根据情况调整进度计划。

5.1.1 施工进度计划控制的目的

施工进度计划控制的目的，是通过控制以实现工程的进度目标。如果只重视进度计划的编制而不重视进度计划必要的检查与调整，则进度无法得到控制。为了实现进度目标，进度控制的过程也就是随着项目的进展，对进度计划不断检查和调整的过程。

施工进度计划控制，主要包括施工进度计划的检查和施工进度计划的调整两个方面。

施工进度计划控制不但关系到施工进度目标能否实现，而且还直接关系到工程的质量和成本。在工程施工实践中，必须在确保工程质量的前提下控制工程进度。为了有效地控制施工进度，必须深入理解以下方面。

(1) 整个建设工程项目的进度目标如何确定。

(2) 有哪些影响整个建设工程项目进度目标实现的主要因素。

(3) 如何正确处理工程进度和工程质量的关系。

(4) 施工方在整个建设工程项目进度目标实现中的地位和作用。

(5) 影响施工进度目标实现的主要因素。

(6) 施工进度控制的基本理论、方法、措施和手段等。

5.1.2 影响施工进度的因素

由于建设工程具有规模庞大、工程结构与工艺技术复杂、建设周期长及相关单位多等特点，决定了建设工程施工进度将受到许多因素的影响。要想有效地控制建设工程施工进度，就必须对影响施工进度的有利因素和不利因素进行全面、细致的分析和预测。这一方


【影响施工进度的因素】

面可以促进对有利因素的充分利用和对不利因素的妥善预防，另一方面也便于事先制定预防措施、事中采取有效对策、事后进行妥善补救，以缩小实际进度与计划进度的偏差，实现对建设工程施工进度的主动控制和动态控制。

影响建设工程施工进度的不利因素很多，如人为因素，技术因素，设备、材料及构配件因素，机具因素，资金因素，水文、地质与气象因素，以及其他自然与社会环境等方面的因素，其中人为因素是最大的干扰因素。常见的影响因素如下。

(1) 业主因素。如业主使用要求改变而进行设计变更，应提供的施工场地条件不能及时提供或所提供的场地不能满足工程正常需要，不能及时向施工承包单位或材料供应商付款等。

(2) 勘察设计因素。如勘察资料不准确，特别是地质资料错误或遗漏；设计内容不完善，规范应用不恰当，设计有缺陷或错误；设计对施工的可能性未考虑或考虑不周；施工图纸供应不及时、不配套或出现重大差错等。

(3) 施工技术因素。如施工工艺错误，不合理的施工方案，施工安全措施不当，不可靠技术的应用等。

(4) 自然环境因素。如复杂的工程地质条件，不明的水文气象条件，地下埋藏文物的保护、处理，洪水、地震、台风等不可抗力等。

(5) 社会环境因素。如外单位临近工程的施工干扰；节假日交通、市容整顿的限制；临时停水、停电、断路；在国外常见的法律及制度变化，经济制裁、战争、骚乱、罢工、企业倒闭等。

(6) 组织管理因素。如向有关部门提出各种申请审批手续的延误；合同签订时遗漏条款、表达失当；计划安排不周密，组织协调不力，导致停工待料、相关作业脱节；领导不力、指挥失当，使参加工程建设的各个单位、各个专业、各个施工过程之间交接和配合上发生矛盾等。

(7) 材料、设备因素。如材料、构配件、机具、设备供应环节的差错，品种、规格、质量、数量、时间不能满足工程的需要；特殊材料及新材料的不合理使用；施工设备不配套，选型失当，安装失误，有故障等。

(8) 资金因素。如有关方拖欠资金、资金不到位、资金短缺，汇率浮动和通货膨胀等。

5.1.3 施工进度计划检查的思路

在建设工程实施过程中，应经常地、定期地对施工进度计划的执行情况跟踪检查，发现问题后及时采取措施加以解决。施工进度计划检查的思路如下。

(1) 施工进度计划的实施。根据施工进度计划的要求制定各种措施，按预定的施工计划进度安排建设工程各项工作。

(2) 实际施工进度数据的收集及加工处理。对施工进度计划的执行情况进行跟踪检查是计划执行信息的主要来源，是进度分析和调整的依据，也是施工进度控制的关键步骤。

跟踪检查的主要工作是定期收集反映工程实际进度的有关数据，收集的数据应当全面、真实、可靠，不完整或不正确的进度数据将导致判断不准确或决策失误。为了进行实际进度与计划进度的比较，必须对收集到的实际进度数据进行加工处理，形成与计划进度具有可比性的数据。如对检查时段实际完成工作量的进度数据进行整理、统计和分析，确定本期累计完成的工作量、本期已完成的工作量占计划工作量的百分比等。

(3) 实际进度与计划进度的比较。将实际进度数据与计划进度数据进行比较，可以确定建设工程实际执行状况与计划目标之间的差距。为了直观反映实际进度偏差，通常采用表格或图形进行实际进度与计划进度的对比分析，从而得出实际进度比计划进度超前、滞后还是一致的结论。

(4) 若实际进度与计划进度不一致，应对计划进行调整或对实际工作进行调整，使实际进度与计划进度尽可能一致。

5.1.4 施工进度计划调整的思路

在建设工程施工进度检查过程中，一旦发现实际进度偏离计划进度，即出现进度偏差时，必须认真分析产生偏差的原因及其对后续工作和总工期的影响，必要时采取合理、有效的施工进度计划调整措施，确保进度总目标的实现。施工进度计划调整的基本思路如下。

(1) 分析进度偏差产生的原因。通过实际进度与计划进度的比较，发现进度偏差时，为了采取有效措施调整进度计划，必须深入现场进行调查，分析产生进度偏差的原因。

(2) 分析进度偏差对后续工作和总工期的影响。当查明进度偏差产生的原因之后，要分析进度偏差对后续工作和总工期的影响程度，以确定是否应采取措施调整进度计划。

(3) 确定后续工作和总工期的限制条件。当出现的进度偏差影响到后续工作或总工期而需要采取进度调整措施时，应当首先确定可调整进度的范围，主要指关键节点、后续工作的限制条件及总工期允许变化的范围。这些限制条件往往与合同条件中的自然因素和社会因素有关，需要认真分析后确定。

(4) 采取措施调整进度计划。采取进度调整措施，应以后续工作和总工期的限制条件为依据，确保要求的进度目标得以实现。

(5) 实施调整后的进度计划。计划调整之后，应采取相应的保障措施（组织、经济、技术和管理等措施）付诸执行，并继续监测其执行情况。

5.2 施工进度计划的控制措施

施工进度计划的控制措施包括组织措施、经济措施、技术措施和管理措施，其中最重要的措施是组织措施，最有效的措施是经济措施。

5.2.1 组织措施

施工进度计划控制的组织措施包括以下内容。

(1) 系统的目标决定了系统的组织，组织是目标能否实现的决定性因素，因此首先应建立项目的进度控制目标体系。

(2) 充分重视健全项目管理的组织体系，在项目组织结构中应有专门的工作部门和符合进度控制岗位资格的专人负责进度控制工作。进度控制的主要工作环节，包括进度目标的分析和论证、编制进度计划、定期跟踪进度计划的执行情况、采取纠偏措施及调整进度计划，这些工作任务和相应的管理职能应在项目管理组织设计的任务分工表和管理职能分工表中标示并落实。

(3) 建立进度报告、进度信息沟通网络、进度计划审核、进度计划实施中的检查分析、图纸审查、工程变更和设计变更管理等制度。

(4) 应编制项目进度控制的工作流程，如确定项目进度计划系统的组成，确定各类进度计划的编制程序、审批程序和计划调整程序等。

(5) 进度控制工作包含了大量的组织和协调工作，而会议是组织和协调的重要手段，建立进度协调会议制度时，应进行有关进度控制会议的组织设计，以明确会议的类型，各类会议的主持人及参加单位和人员，各类会议的召开时间、地点，各类会议文件的整理、分发和确认等。

5.2.2 经济措施

施工进度计划控制的经济措施包括以下内容。

(1) 为确保进度目标的实现，应编制与进度计划相适应的资源需求计划（资源进度计划），包括资金需求计划和其他资源（人力和物力资源）需求计划，以反映工程实施的各时段所需要的资源。通过资源需求的分析，可发现所编制的进度计划实现的可能性，若资源条件不具备，应调整进度计划，同时考虑可能的资金总供应量、资金来源（自有资金和外来资金）及资金供应的时间等。

(2) 及时办理工程预付款及工程进度款支付手续。

(3) 在工程预算中应考虑加快工程进度所需要的资金，其中包括为实现进度目标将要采取的经济激励措施所需要的费用，如对应急赶工给予的优厚赶工费用及对工期提前给予的奖励等。

(4) 对工程延误收取的误期损失赔偿金。

5.2.3 技术措施

施工进度计划控制的技术措施包括以下内容。

(1) 不同的设计理念、设计技术路线、设计方案会对工程进度产生不同的影响，在设计工作的前期特别是在设计方案评审和选用时，应对设计技术与工程进度的关系进行分析比较。

（2）采用技术先进和经济合理的施工方案，改进施工工艺、施工技术和施工方法，选用更先进的施工机械。

5.2.4 管理措施

建设工程项目施工进度计划控制的管理措施涉及管理的思想、管理的方法、管理的手段、承发包模式、合同管理和风险管理等。在理顺组织的前提下，科学和严谨的管理就显得十分重要。

施工进度计划控制采取相应的管理措施时必须注意以下问题。

（1）建设工程项目施工进度计划控制在管理观念方面存在的主要问题是：缺乏进度计划系统的观念，分别编制各种独立而互不联系的计划，形成不了计划系统；缺乏动态控制的观念，只重视计划的编制，而不重视及时进行计划的动态调整；缺乏进度计划多方案比较和选优的观念。合理的进度计划应体现资源的合理使用、工作面的合理安排，有利于提高建设质量，有利于文明施工和合理缩短建设周期。因此对于建设工程项目施工进度计划控制，必须有科学的管理思想。

（2）用工程网络计划的方法编制施工进度计划必须很严谨地分析和考虑工作之间的逻辑关系，通过工程网络的计算可发现关键工作和关键路线，也可知道非关键工作可利用的时差。工程网络计划的方法有利于实现施工进度计划控制的科学化，是一种科学的管理方法。

（3）重视信息技术（包括相应的软件、局域网、互联网及数据处理设备）在施工进度计划控制中的应用。虽然信息技术对施工进度计划控制而言只是一种管理手段，但它的应用有利于提高进度信息处理的效率、提高进度信息的透明度、促进进度信息的交流和项目各参与方的协同工作。

（4）承发包模式的选择直接关系到工程实施的组织和协调。为了实现进度目标，应选择合理的合同结构，避免过多的合同交界面而影响工程的进展。

（5）加强合同管理和索赔管理，协调合同工期与进度计划的关系，保证合同中进度目标的实现；同时严格控制合同变更，尽量减少由于合同变更引起的工程拖延。

（6）为实现进度目标，不但应进行进度控制，还应注意分析影响工程进度的风险并采取管理措施，以减少进度失控的风险量。常见的影响工程进度的风险，有组织风险、管理风险、合同风险、资源（人力、物力和财力）风险及技术风险等。

5.3 施工进度计划的检查与调整

在项目实施过程中，必须对进展过程实施动态监测与检查，随时监控项目的进展情况、收集实际进度数据，并与进度计划进行对比分析。若出现偏差，应找出原因及对工期的影响程度，相应采取有效的措施做必要的调整，使项目按预定的进度目标进行。这一不断循环的过程即称为进度控制。

施工进度计划的实施与施工进度计划的检查是融会在一起的。施工进度计划的比较分析与计划调整是建筑施工项目进度控制的主要环节，其中施工进度计划的检查是施工进度计划调整的基础，也是调整和分析的依据，因此施工进度计划的检查是施工进度计划控制的关键。

5.3.1 施工进度计划的实施

工程施工进度计划的实施就是施工活动的进展，也就是利用施工进度计划指导和控制施工活动、落实和完成施工进度计划。工程施工进度计划逐步实施的过程，就是工程施工建造逐步完成的过程，要保证工程施工进度计划顺利实施并尽量按审批好的计划时间逐步开展，保证各进度目标的实现并按期交付使用。

施工进度计划在实施过程中，需要注意以下事项。

(1) 掌握计划实施情况。

(2) 组织施工中各阶段、环节、专业、工种相互密切配合。

(3) 协调外部供应、总分包等各方面的关系。

(4) 采取各种措施排除各种干扰和矛盾，保证连续均衡施工。

(5) 对关键部位要组织有关人员加强监督检查，发现问题及时解决。

5.3.2 施工进度计划的检查

1. 施工进度计划的检查内容

施工进度计划的检查内容包括以下方面。

(1) 随着项目进展，不断观测每一项工作的实际开始时间、实际完成时间、实际持续时间、目前现状等内容，并加以记录。

(2) 定期观测关键工作的进度和关键线路的变化情况，并采取相应措施进行调整。

(3) 观测检查非关键工作的进度，以便更好地发掘潜力，调整或优化资源，以保证关键工作按计划实施。

(4) 定期检查工作之间的逻辑关系变化情况，以便适时进行调整。

(5) 检查有关项目范围、进度目标、保障措施变更的信息等并加以记录。

对项目施工进度计划进行监测后，应形成书面进度报告。

项目进度报告的内容主要包括：进度执行情况的综合描述，实际施工进度，资源、供应进度，工程变更、价格调整、索赔及工程款收支情况，进度偏差状况及导致偏差的原因分析，解决问题的措施，计划调整意见。

一般应根据施工项目的类型、规模、施工条件和对进度执行要求的程度确定检查时间和间隔时间，常规性检查可确定为每月、半月、旬或周进行一次。在计划执行过程中突然出现意外情况时，可进行“应急检查”，以便采取应急调整措施，如施工中遇到天气、资源供应等不利因素严重影响时，间隔时间可临时缩短。同时，对施工进度有重大影响的关键施工作业可每日检查或派人驻现场督阵。跟踪检查施工实际进度是项目施工进度控制的关键内容。

2. 施工进度计划的检查方法

施工进度计划的检查方法主要是对比法，即将实际进度与计划进度进行对比，从而发现偏差，以便调整或修改计划。

施工进度计划检查的步骤如下。

(1) 将收集的实际进度数据和资料进行整理加工，使之与相应的进度计划具有可比性。

(2) 将整理后的实际数据资料与施工进度计划进行比较。

(3) 得出实际进度与计划进度是否存在偏差(相一致、超前、落后)的结论。

常用的施工实际进度与施工计划进度的比较方法有横道图比较法、S曲线比较法、香蕉形曲线比较法、前锋线比较法、列表比较法等。

1) 横道图比较法

横道图比较法是指将项目实施过程中检查实际进度收集到的数据，经加工整理后直接用横道线平行绘制于原计划的横道线处，进行实际进度与计划进度比较的方法。采用横道图比较法，可以形象、直观地反映实际进度与计划进度的比较情况。

图5-1所示为将某钢筋混凝土工程的施工实际进度计划与计划进度的比较，其中双细实线表示计划进度，涂黑部分(也可以涂彩色)表示工程施工的实际进度。从比较中可以看出，在第8天末进行施工进度检查时，支模板工作已经全部完成；绑钢筋工作按计划进度应当全部完成，但施工实际进度只完成了83%；浇筑混凝土工作完成了44%，与计划施工进度一致。

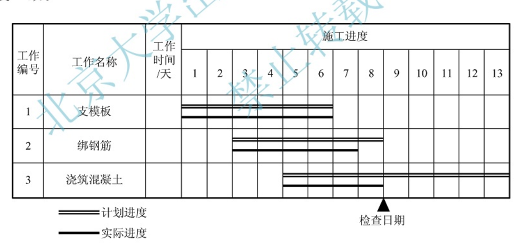


图5-1 某钢筋混凝土工程的施工实际进度与计划进度的比较

通过上述记录与比较，为进度控制者提供了施工实际进度与计划进度之间的偏差，为采取调整措施提供了明确的任务。这是在施工中进行进度控制经常使用的一种最简单的方法。

应该注意，上述为匀速进展横道图比较法，仅适用于工作从开始到结束的整个过程中其进展速度均为固定不变的情况(即在工程项目中，每项工作在单位时间内完成的任务量都相等，工作的进展速度是均匀的，每项工作累计完成的任务量与时间呈线性关系)。

如果工作的进展速度是变化的，则不能采用上述方法进行实际进度与计划进度的比较，否则会得出错误的结论。当工作在不同单位时间里的进展速度不相等时，累计完成的

任务量与时间的关系就不可能是线性关系，此时就应采用非匀速进展横道图比较法进行工作实际进度与计划进度的比较。非匀速进展横道图比较法在此不赘述。

横道图比较法比较简单、形象直观、易于掌握、使用方便，但由于其以横道计划为基础，因而带有不可克服的局限性。在横道计划中，各项工作之间的逻辑关系表达不明确，关键工作和关键线路无法确定。一旦某些工作实际进度出现偏差时，难以预测其对后续工作和工程总工期的影响，也就难以确定相应的进度计划调整方法。因此横道图比较法主要用于工程项目中某些工作实际进度与计划进度的局部比较。

2）S 曲线比较法

S 曲线比较法是以横坐标表示时间，纵坐标表示累计完成任务量，绘制一条按计划时间累计完成任务量的 S 曲线，然后将工程项目实施过程中各检查时间实际累计完成任务量的 S 曲线也绘制在同一坐标系中，进行实际进度与计划进度比较的一种方法。

从整个工程项目实际进展全过程来看，单位时间投入的资源量一般是开始和结束时较少，中间阶段较多，与其相对应，单位时间完成的任务量也呈同样的变化规律，如图 5－2(a) 所示。而随工程进展累计完成的任务量则相应呈 S 形变化，如图 5－2(b) 所示，S 曲线即由此得名，它可以反映整个工程项目进度的快慢信息。

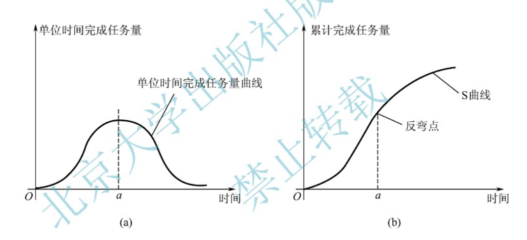


图 5－2　时间与完成任务量关系曲线

同横道图比较法一样，S 曲线比较法也是在图上进行工程项目实际进度与计划进度的直观比较。在工程项目实施过程中，按照规定时间将检查收集到的实际累计完成任务量绘制在原计划 S 曲线图上，即可得到实际进度 S 曲线，如图 5－3 所示。通过比较实际进度 S 曲线和计划进度 S 曲线，可以获得如下信息。

（1）工程项目的实际进展状况。如果工程实际进展点落在计划 S 曲线左侧，则表明此时实际进度比计划进度超前，如图 5－3 中的 a 点；如果工程实际进展点落在 S 计划曲线右侧，则表明此时实际进度拖后，如图 5－3 中的 b 点；如果工程实际进展点正好落在计划 S 曲线上，则表示此时实际进度与计划进度一致。

（2）工程项目实际进度超前或拖后的时间。在 S 曲线比较图中可以直接读出实际进度比计划进度超前或拖后的时间。如图 5－3 所示，ΔT_a 表示 T_a 时刻实际进度超前的时间，ΔT_b 表示 T_b 时刻实际进度拖后的时间。

（3）工程项目实际超额或拖欠的任务量。在 S 曲线比较图中也可直接读出实际进度比

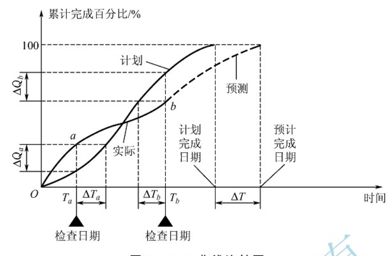


图 5－3　S 曲线比较图

计划进度超额或拖欠的任务量。如图 5－3 所示，ΔQ_a 表示 T_a 时刻超额完成的任务量，ΔQ_b 表示 T_b 时刻拖欠的任务量。

（4）后期工程进度预测。如果后期工程按原计划速度进行，则可作出后期工程计划 S 曲线，如图 5－3 中虚线所示，从而可以确定工期拖延预测值 ΔT。

3）香蕉形曲线比较法

香蕉形曲线是两条 S 曲线组合形成的闭合曲线。从 S 曲线比较法可知：某一施工项目，计划时间和累计完成任务量之间的关系都可以用一条 S 曲线表示。一般说来，任何一个施工项目的网络计划，都可以绘制出两条曲线，其一是以各项工作的计划最早开始时间安排进度而绘制的 S 曲线，称为 ES 曲线；其二是以各项工作的计划最迟开始时间安排进度而绘制的 S 曲线，称为 LS 曲线。两条 S 曲线都是从计划的开始时刻开始和完成时刻结束，因此两条曲线是闭合的。其余时刻，ES 曲线上的各点一般均落在 LS 曲线相应点的左侧，形成一个形如香蕉的曲线，故此称为香蕉形曲线，如图 5－4 所示。

在项目的实施中，进度控制的理想状况是任一时刻按实际进度描出的点落在该香蕉形曲线的区域内，如图 5－4 中的实际进度线。

香蕉形曲线比较法的作用：利用香蕉形曲线可合理安排进度；将施工实际进度与计划进度进行比较，可确定在检查状态下，后期工程的 ES 曲线和 LS 曲线的发展趋势。

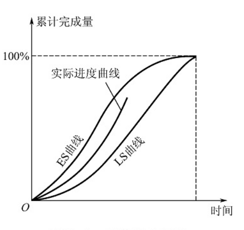


图 5－4　香蕉形曲线图

4）前锋线比较法

前锋线比较法是通过绘制某检查时刻工程项目的实际进度前锋线，进行工程施工实际进度与计划进度比较的方法，它主要适用于时标网络计划。

所谓前锋线，是指在原时标网络计划上，从检查时刻的时标点出发，用点画线依次将各项工作实际进展位置点连接而形成的折线，如图 5－5 所示。其主要方法是从检查时刻的时标点出发，首先连接与其相邻的工作箭线的实际进度点，由此再去连接该工作相邻工作箭线的实际进度点，依此类推。将检查时刻正在进行工作的点都依次连接起来，组成一



条一般为折线的前锋线，按前锋线与箭线交点的位置可判定施工实际进度与计划进度的偏差。简而言之，前锋线比较法就是通过实际进度前锋线与原进度计划中各工作箭线交点的位置来判断工作实际进度与计划进度的偏差，进而判定该偏差对后续工作及总工期影响程度的一种方法。

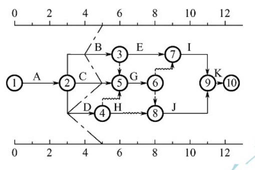


图 5-5　前锋线比较图（单位：天）

采用前锋线比较法进行实际进度与计划进度的比较，其步骤如下。

（1）绘制时标网络计划图。工程项目实际进度前锋线在时标网络计划图上标示。为清楚起见，可在时标网络计划图的上方和下方各设一时间坐标。

（2）绘制实际进度前锋线。一般从时标网络计划图上方时间坐标的检查日期开始绘制，依次连接相邻工作的实际进展位置点，最后与时标网络计划图下方坐标的检查日期相连接。

工作实际进展位置点的标定方法有两种：一种是按该工作已完任务量比例进行标定，假设工程项目中各项工作均为匀速进展，根据实际进度检查时刻该工作已完成任务量占其计划完成总任务量的比例，在工作箭线上从左至右按相同的比例标定其实际进展位置点；另一种是按尚需作业时间进行标定，当某些工作的持续时间难以按实物工程量来计算而只能凭经验估算时，可以先估算出检查时刻到该工作全部完成尚需作业的时间，然后在该工作箭线上从右向左逆向标定其实际进展位置点。

（3）进行实际进度与计划进度的比较。前锋线可以直观反映出检查日期有关工作实际进度与计划进度之间的关系。对某项工作来说，其实际进度与计划进度之间的关系可能存在以下三种情况：一是工作实际进展位置点落在检查日期的左侧，表明该工作实际进度拖后，拖后时间为两者之差；二是工作实际进展位置点与检查日期重合，表明该工作实际进度与计划进度一致；三是工作实际进展位置点落在检查日期的右侧，表明该工作实际进度超前，超前的时间为两者之差。


【前锋线比较法】

（4）预测进度偏差对后续工作及总工期的影响。通过实际进度与计划进度的比较确定进度偏差后，还可根据工作的自由时差和总时差预测该进度偏差对后续工作及项目总工期的影响。由此可见，前锋线比较法既适用于工作实际进度与计划进度之间的局部比较，又可用来分析和预测工程项目的整体进度状况。需要注意的是，以上比较是针对匀速进展的工作。

【例 5-1】已知双代号时标网络计划如图 5-5 所示，在第 5 天检查时，发现 A 工作已完成，B 工作已进行 1 天，C 工作已进行 2 天，D 工作尚未开始。试用前锋线比较法进行实际进度与计划进度的比较。

【解】根据前锋线比较图，可以看出B工作为关键工作，比计划延误1天，会影响工期1天；C工作为非关键工作，具有时差1天，现在与计划一致，因此不会影响工期；D工作为非关键工作，具有时差2天，现在比计划延误2天，因此不会影响工期。

【例5-2】某工程项目时标网络计划如图5-6所示。该计划执行到第6周末检查实际进度时，发现工作A和B已经全部完成，工作D、E分别完成计划任务量的20%和50%，工作C尚需3周完成。试用前锋线比较法进行实际进度与计划进度的比较。

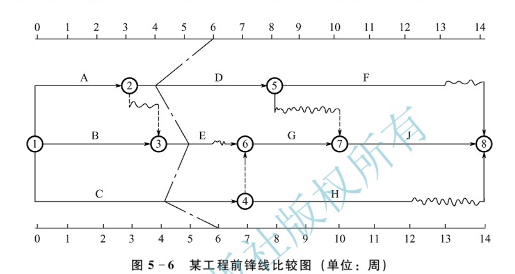


图5-6 某工程前锋线比较图（单位：周）

【解】根据第6周末实际进度的检查结果绘制前锋线，如图5-6中点画线所示。通过比较可以看出以下结论。

（1）工作D实际进度拖后2周，将使其后续工作F的最早开始时间推迟2周，并使总工期延长1周。

（2）工作E实际进度拖后1周，既不影响总工期，也不影响其后续工作的正常进行。

（3）工作C实际进度拖后2周，将使总工期延长2周，并将使其后续工作G、H、J的最早开始时间推迟2周。由于工作G、J开始时间的推迟，从而使总工期延长2周。

综上所述，如果不采取措施加快进度，该工程项目的总工期将延长2周。

5）列表比较法

当采用无时间坐标网络图计划时，也可以采用列表分析法比较项目施工实际进度与计划进度的偏差情况。该方法是记录检查时正在进行的工作名称和已进行的天数，然后列表计算有关参数，根据原有总时差和尚有总时差判断实际进度与计划进度的比较方法。

列表比较法步骤如下。

（1）计算检查时正在进行的工作尚需要的作业时间。

（2）计算检查的工作从检查日期到最迟完成时间的尚余时间。

（3）计算检查的工作到检查日期止尚余的总时差。

（4）填表分析工作实际进度与计划进度的偏差。可能有以下几种情况。

① 若工作尚有总时差与原有总时差相等，说明该工作的实际进度与计划进度一致。

② 若工作尚有总时差小于原有总时差，但仍为正值，则说明该工作的实际进度比计划进度拖后，产生的偏差值为两者之差，但不影响总工期。

③ 若尚有总时差为负值，则说明该工作的实际进度比计划进度拖后，产生的偏差值为两者之差，且对总工期有影响，应当调整。

【例 5－3】已知某双代号时标网络计划如图 5－7 所示，在第 5 天检查时，发现 A 工作已完成，B 工作已进行 1 天，C 工作已进行 2 天，D 工作尚未开始。试运用列表比较法进行实际进度与计划进度的比较。

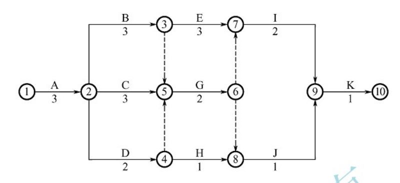


图 5－7 某双代号时标网络计划（单位：天）

【解】(1) 计算时标网络图相关时间参数，见表 5－1。

(2) 根据尚有总时差的计算结果，判断工作实际进度情况，见表 5－1。

表 5－1 工作进度检查比较表（天）

工作代号	工作名称	检查计划时尚需作业天数	到计划最迟完成时尚余天数	原有总时差	尚有总时差	情况判断
2—3	B	2	1	0	－1	拖延工期 1 天
2—5	C	1	2	1	1	正常
2—4	D	2	2	2	0	正常

5.3.3 施工进度计划的调整

施工进度计划的调整依据是进度计划检查结果。在工程项目实施过程中，当通过实际进度与计划进度的比较发现有进度偏差时，应根据偏差对后续工作及总工期的影响，采取相应的调整方法措施对原进度计划进行调整，以确保工期目标的顺利实现。

1. 调整的内容

调整的内容包括施工内容、工程量、起止时间、持续时间、工作关系、资源供应等。

调整施工进度计划采用的原理、方法与施工进度计划的优化相同。

2. 调整施工进度计划的步骤

调整施工进度计划的基本步骤为：①分析进度计划检查结果；②分析进度偏差的影响并确定调整的对象和目标；③选择适当的调整方法；④编制调整方案；⑤对调整方案进行评价和决策；⑥调整；⑦确定调整后付诸实施的新施工进度计划。

3. 分析进度偏差对后续工作及总工期的影响

进度偏差的大小及其所处的位置不同，对后续工作和总工期的影响程度是不同的，分析时需要利用网络计划中工作总时差和自由时差的概念进行判断。其分析步骤如下。

（1）分析出现进度偏差的是否为关键工作。如果出现进度偏差的工作位于关键线路上，即该工作为关键工作，则无论其偏差有多大，都将对后续工作和总工期产生影响，必须采取相应的调整措施；如果出现偏差的工作是非关键工作，则需要根据进度偏差值与总时差和自由时差的关系做进一步分析。

（2）分析进度偏差是否超过总时差。如果工作的进度偏差大于该工作的总时差，则此进度偏差必将影响其后续工作和总工期，因此必须采取相应的调整措施；如果工作的进度偏差未超过该工作的总时差，则此进度偏差不影响总工期。至于对后续工作的影响程度，还需要根据偏差值与其自由时差的关系做进一步分析。

（3）分析进度偏差是否超过自由时差。如果工作的进度偏差大于该工作的自由时差，则此进度偏差将对其后续工作的最早开始时间产生影响，此时应根据后续工作的限制条件确定调整方法；如果工作的进度偏差未超过该工作的自由时差，则此进度偏差不影响后续工作，因此原进度计划可以不做调整。

4. 施工进度计划的调整方法

1）缩短某些工作的持续时间

通过检查分析，如果发现原有进度计划已不能适应实际情况，为了确保进度控制目标的实现或需要确定新的计划目标，就必须对原进度计划进行调整，以形成新的进度计划，作为进度控制的新依据。

这种方法的特点是不改变工作之间的先后顺序，而通过缩短网络计划中关键线路上工作的持续时间来缩短工期，并考虑经济影响，实质上是一种工期费用优化。通常优化过程需要采取一定的措施来达到目的，具体措施包括以下几方面。

（1）组织措施。如增加工作面，组织更多的施工队伍；增加每天的施工时间（如采用三班制等）；增加劳动力和施工机械的数量等。

（2）技术措施。如改进施工工艺和施工技术，缩短工艺技术间歇时间；采用更先进的施工方法，以减少施工过程的数量（如将现浇框架方案改为预制装配方案）；采用更先进的施工机械，加快作业速度等。

（3）经济措施。如实行包干奖励，提高奖金数额，对所采取的技术措施给予相应的经济补偿等。

（4）其他配套措施。如改善外部配合条件，改善劳动条件，实施强有力的调度等。

一般来说，不管采取哪种措施，都会增加费用。因此在调整施工进度计划时，应利用费用优化的原理选择费用增加量最小的关键工作作为压缩对象。

2）改变某些工作间的逻辑关系

当工程项目实施中产生的进度偏差影响到总工期，且有关工作的逻辑关系允许改变时，可以不改变工作的持续时间，而通过改变关键线路和超过计划工期的非关键线路上的有关工作之间的逻辑关系，达到缩短工期的目的。例如将按顺序进行的工作改为平行作业，对于大型建设工程，由于其单位工程较多且相互间的制约较小，可调整的幅度比较大，所以容易采用平行作业的方法调整施工进度计划；而对于单位工程项目，由于受工作之间工艺关系的限制，可调整的幅度比较小，所以通常采用搭接作业及分段组织流水作业等方法来调整施工进度计划，以有效地缩短工期。但不管是平行作业还是搭接作业，建设工程单位时间内的资源需求量都将会增加。

3）其他方法

除了分别采用上述两种方法来缩短工期外，有时由于工期拖延得太多，当采用某种方法进行调整而其可调整幅度又受到限制时，也可以同时利用缩短工作持续时间和改变工作之间的逻辑关系这两种方法对同一施工进度计划进行调整，以满足工期目标的要求。

5. 施工进度计划的优化

施工进度计划的优化，包括工期优化、费用优化、资源优化。关于三种优化的具体内容详见 5.4 节。

5.4 施工进度计划的优化

优化，是在既定的约束条件下按选定的目标，通过不断改进进度计划来寻求满意方案。施工进度计划的优化目标，应按计划任务的需要和条件选定，包括工期目标、费用目标、资源目标。施工进度计划优化的内容相应包括工期优化、费用优化和资源优化。

5.4.1 工期优化

工期优化也称时间优化，就是通过压缩计算工期来达到既定的工期目标，或在一定约束条件下使工期最短的过程。工期优化一般是通过压缩关键工作的持续时间来实现的，但在优化过程中不能将关键工作压缩成非关键工作。当出现多条关键线路时，必须将各条关键线路的持续时间压缩相同数值。

网络计划的工期优化可按下列步骤进行。

（1）计算初始网络计划的计算工期，并找出关键线路。

（2）按要求工期计算应缩短的时间。

（3）选择应缩短持续时间的关键工作。选择压缩对象时须考虑下列对象：①缩短持续时间对质量和安全影响不大的工作；②有充足备用资源的工作；③缩短持续时间所需增加费用最少的工作。

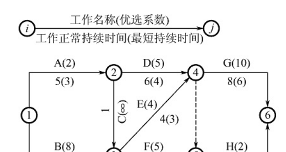
（4）将所选定的关键工作的持续时间压缩至某适当值，并重新确定计算工期和关键线路。

（5）若计算工期仍超过要求工期，则重复以上步骤，直到满足工期要求或工期已不能再缩短为止。

（6）当所有关键工作的持续时间都已达到其能缩短的极限而工期仍不能满足要求时，则应对计划的原技术方案、组织方案进行调整，或对要求工期重新审定。

【例 5－4】某工程网络计划如图 5－8 所示，箭线上方的括号内是优选系数，箭线下方为工作的正常持续时间和最短持续时间，要求工期为 15 天，试对其进行优化（注：选择关键工作压缩持续时间时，应选优选系数最小的工作或优选系数之和最小的组合）。

【解】（1）如图 5－9 所示，用标号法快速计算工期，找出关键线路。



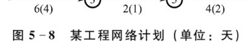


图 5－8　某工程网络计划（单位：天）

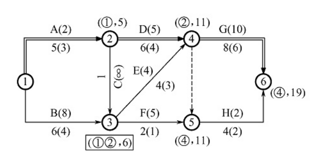


图 5－9　标号法计算工期（单位：天）

由图 5－9 可得 T_c＝19 天，关键线路为①→②→④→⑥。

（2）按要求工期计算应压缩的时间：$\Delta T = T_c - T_r = 19 - 15 = 4$（天）。

（3）选择应优先缩短持续时间的关键工作，将其压缩至最短时间并保持。

① 第一次压缩。

可供压缩的关键工作为 A、G、D，优选系数最小工作为 A，其持续时间可压缩至最短时间 3 天。用标号法快速计算工期，找出关键线路，如图 5－10 所示。

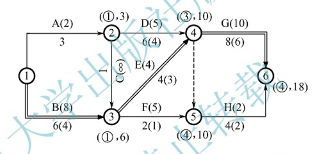


图 5－10　将工作 A 压缩至 3 天后的网络计划（单位：天）

此时关键线路为①→③→④→⑥。原来的关键工作 A、D 变为非关键工作，因此需要将工作 A 反弹。将工作 A 反弹至 4 天，并用标号法快速计算工期，找出关键线路，如图 5－11 所示。此时关键线路有两条：①→②→④→⑥，①→③→④→⑥。相应计算工期为 18 天，还需要压缩 3 天。

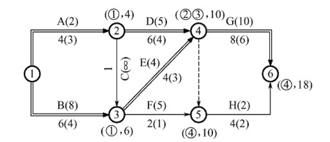


图 5－11　第一次压缩后的网络计划（单位：天）

② 第二次压缩。

此时有五种压缩方案：a. 压缩工作 G，优选系数为 10；b. 同时压缩工作 A、B，组合优选系数为 10；c. 同时压缩工作 D、E，组合优选系数为 9；d. 同时压缩工作 A、E，组合优选系数为 6；e. 同时压缩工作 B、D，组合优选系数为 13。故应选取同时压缩工作 A、

E的方案，将工作A、E同时压缩1天。第二次压缩后的网络计划如图5－12所示，用标号法快速计算工期，找出关键线路，发现关键线路未变，工期为17天，仍需压缩2天。但此时工作A、E已不能压缩，优选系数为∞。

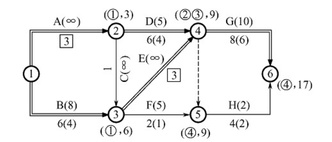


图5－12　第二次压缩后的网络计划（单位：天）

③ 第三次压缩。

此时有两种压缩方案：a. 压缩工作G，优选系数为10；b. 同时压缩工作B、D，组合优选系数为13。故应选择压缩工作G的方案。将工作G压缩2天，并用标号法快速计算工期，找出关键线路，发现关键线路未变，工期为15天，可满足要求，此时工作A、E、G已不能压缩，优选系数为∞。至此完成工期优化，优化后的网络计划如图5－13所示。

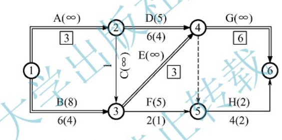


图5－13　优化后的网络计划（单位：天）

【例5－5】 某单项工程，项目的合同工期为38周。经总监理工程师批准的施工进度计划如图5－14所示（时间单位为周），各工作可以缩短的时间及其增加的赶工费用见表5－2。开工1周后，建设单位要求将总工期缩短2周，故请监理单位帮助拟定一个合理的赶工方案以便与施工单位洽商。请问如何调整计划才能既实现建设单位的要求又能使支付施工单位的赶工费用最少？说明步骤和理由。

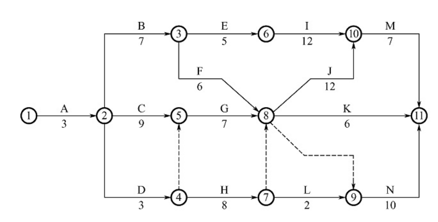


图5－14　某工程施工进度计划（单位：周）

表 5－2 各工作可缩短的时间及赶工费用

分部工程名称	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
可缩短时间/周	0	1	1	1	2	1	1	0	2	1	1	0	1	3
增加的赶工费用/万元	—	0.7	1.2	1.1	1.8	0.5	0.4	—	3.0	2.0	1.0	—	0.8	1.5

【解】该网络计划的关键工作为 A、C、G、J、M，应选择关键工作作为压缩对象；又因为压缩分部工程 G、M 增加的赶工费用分别为最低和次低，并且均可压缩一周，压缩之后仍为关键工作，因此应分别将分部工程 G、M 各压缩 1 周，赶工总费用为 0.4＋0.8＝1.2(万元)。

具体步骤如下。

(1) 用标号法确定网络计划的计算工期和关键线路，如图 5－15 所示。

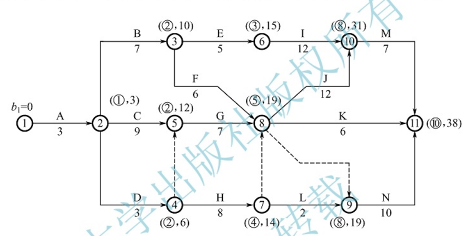


图 5－15 标号法确定计算工期和关键线路（单位：周）

(2) 按要求工期计算应压缩的时间：$\Delta T=2$ 周。

(3) 选择应缩短持续时间的关键工作（从需增加的费用最少的关键工作开始）：G、M。

(4) 将所选定的关键工作的持续时间压缩到最短，并重新确定计算工期和关键线路，如图 5－16 所示。

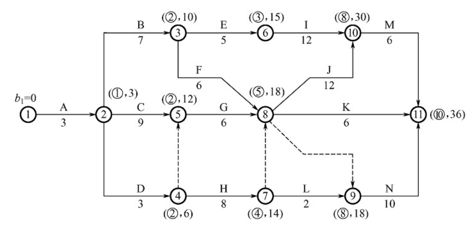


图 5－16 优化后的进度计划（单位：周）

【例 5－6】根据给定条件，对本单元典型工作任务的问题进行解答。

【解】(1) 找出关键线路，并计算工期，如图 5－17 所示。

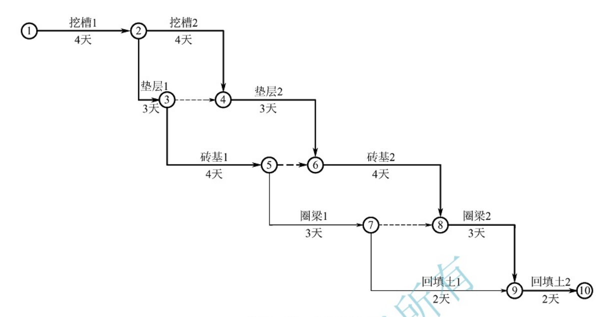


图 5－17 关键线路

由图可见关键线路有两条：①→②→③→⑤→⑥→⑧→⑨→⑩，①→②→④→⑥→⑧→⑨→⑩。相应的 $T_c=20$ 天。

(2) 应压缩的时间 $\Delta T=2$ 天。

(3) 由于有两条关键线路，需考虑两条关键线路同时、同步压缩。而且根据条件，“砖基 1”“砖基 2”“回填 1”“回填 2”四项工作不能被压缩。

① 第一次压缩。

有四种压缩方案：a. 压缩工作“挖槽 1”，赶工费用为 1000 元/天；b. 同时压缩工作“垫层 1”和“挖槽 2”，赶工费用为 1600 元/天；c. 同时压缩工作“垫层 1”和“垫层 2”，赶工费用为 1200 元/天；d. 压缩工作“圈梁 2”，赶工费用为 1300 元/天。

故选择压缩工作“挖槽 1”的方案，将工作“挖槽 1”压缩 1 天。第一次压缩后的网络计划如图 5－18 所示，此时工作“挖槽 1”已不能再被压缩，关键线路不变，工期为 19 天。

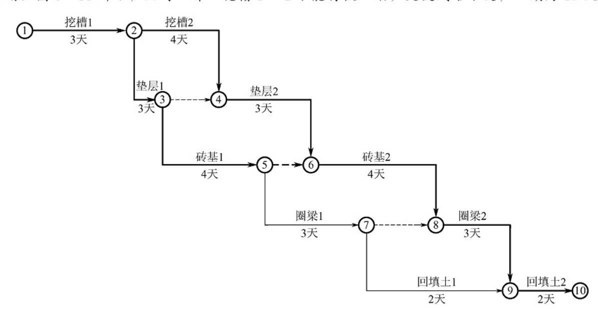


图 5－18 第一次压缩后的网络计划

② 第二次压缩。

此时有三种压缩方案：a. 同时压缩工作“垫层1”和“挖槽2”，赶工费用为1600元/天；b. 同时压缩工作“垫层1”和“垫层2”，赶工费用为1200元/天；c. 压缩工作“圈梁2”，赶工费用为1300元/天。

故选择同时压缩工作“垫层1”和“垫层2”的方案，将工作“垫层1”和“垫层2”同时压缩1天。第二次压缩后的网络计划如图5-19所示，此时工作“垫层1”与“垫层2”已不能再被压缩，关键线路不变，工期为18天。满足要求，完成优化。

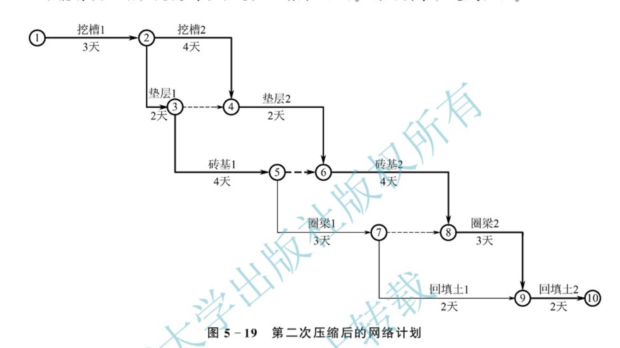


图5-19 第二次压缩后的网络计划

5.4.2 费用优化

费用优化又称工期成本优化，是指在一定的限定条件下，寻求工程总成本最低时的工期安排，或按要求工期寻求最低成本的计划安排的过程。

费用优化的目的是使项目的总费用最低，优化应从以下方面进行考虑。

(1) 在既定工期的前提下，确定项目的最低费用。

(2) 在既定的最低费用限额下完成项目计划，确定最佳工期。

(3) 若需要缩短工期，则考虑如何使增加的费用最小。

(4) 若新增一定数量的费用，则可计算工期能缩短到多少。

进度计划的总费用由直接费和间接费组成。在一定范围内，直接费随工期的延长而减少，而间接费则随工期的延长而增加，总费用最低点所对应的工期即为最优工期。

费用优化可按下述步骤进行。

(1) 按工作的正常持续时间确定网络计划的工期、关键线路，以及总直接费、总间接费及总费用。

(2) 计算各项工作的直接费率，计算公式为

$$\Delta D_{i-j}=\frac{CC_{i-j}-CN_{i-j}}{DN_{i-j}-DC_{i-j}} \tag{5-1}$$

式中　ΔD_{i-j}——工作 i—j 的直接费率；

CC_{i-j}、CN_{i-j}——分别为工作 i—j 按最短持续时间和正常持续时间完成工作所需的直接费；

DC_{i-j}、DN_{i-j}——分别为工作 i—j 的最短持续时间和正常持续时间。

(3) 选择直接费率（组合直接费率）最小且不超过工程间接费率的工作，作为被压缩对象。

(4) 缩短被压缩对象的持续时间，其缩短值必须符合所在关键线路不能变成非关键线路，且缩短后的持续时间不小于最短持续时间的原则。

(5) 计算关键工作持续时间缩短后相应增加的总费用。

(6) 重复上述步骤 (3)～(5)，直至计算工期满足要求工期，或被压缩对象的直接费率或组合直接费率大于工程间接费率为止。

【例 5－7】 已知网络计划如图 5－20 所示。该工程的间接费率为 0.8 万元/天，试求出费用最少的工期。

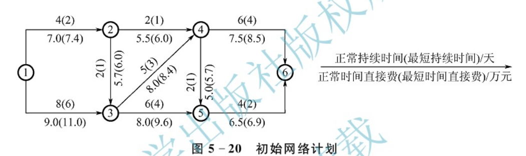


图 5－20　初始网络计划

【解】 (1) 根据各项工作的正常持续时间，确定网络计划的计算工期、关键线路、总直接费、总间接费和总费用，如图 5－21 所示。

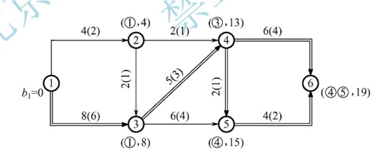


图 5－21　确定初始网络计划的时间参数（单位：天）

直接费总和＝7.0＋9.0＋5.7＋5.5＋8.0＋8.0＋5.0＋7.5＋6.5＝62.2(万元)

间接费总和＝19×0.8＝15.2(万元)

工程总费用＝62.2＋15.2＝77.4(万元)

(2) 计算各项工作的直接费率，结果见表 5－3。

表 5－3　工作的直接费率计算表

工　作	1—2	1—3	2—3	2—4	3—4	3—5	4—5	4—6	5—6
直接费率/(万元/天)	0.2	1.0	0.3	0.5	0.2	0.8	0.7	0.5	0.2

（3）通过压缩关键工作的持续时间进行费用优化。

① 第一次压缩。关键工作3—4的直接费率最小，且小于间接费率，故选择工作3—4作为压缩对象，可使工程总费用降低；为使其不被压缩成非关键工作，故压缩持续时间1天，总费用减少0.6万元。第一次压缩后的网络计划如图5-22所示。

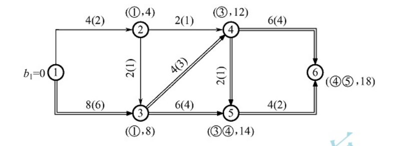


图5-22 第一次压缩后的网络计划（单位：天）

② 第二次压缩。同时压缩工作3—4和工作5—6，缩短1天，总费用减少0.4万元。第二次压缩后的网络计划如图5-23所示。

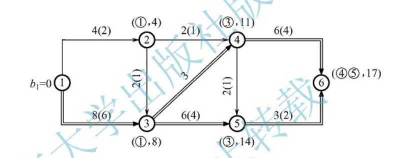


图5-23 第二次压缩后的网络计划（单位：天）

③ 第三次压缩。同时压缩工作4—6和工作5—6，缩短1天，总费用减少0.1万元。第三次压缩后的网络计划如图5-24所示。

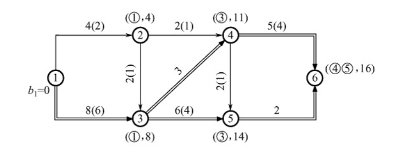


图5-24 第三次压缩后的网络计划（最终优化结果）（单位：天）

④ 第四次压缩。从图5-24可知，有两个压缩方案，一是压缩工作1—3，直接费率为1.0万元/天；二是同时压缩工作4—6和工作3—5，组合直接费率为1.3万元。由于两个方案中被压缩对象的直接费率都大于间接费率，说明继续压缩会使工程总费用增加，因此不能继续压缩，费用优化过程结束。故而图5-24所示网络计划即为优化后的最终网络计划。

以上费用优化过程见表 5-4。

表 5-4 费用优化表

压缩次数	被压缩工作	直接费率/(万元/天)	费率差/(万元/天)	缩短时间	费用增加值/万元	总工期/天	总费用/万元	备注
0	—	—	—	—	—	19	77.4	—
1	3—4	0.2	−0.6	1	−0.6	18	76.8	—
2	3—4 5—6	0.4	−0.4	1	−0.4	17	76.4	—
3	4—6 5—6	0.7	−0.1	1	−0.1	16	76.3	最优工期
4	1—3	1.0	+0.2	—	—	—	—	—

5.4.3 资源优化

资源是对为完成任务所需的人力、材料、机械设备和资金的统称。资源优化的目标是通过调整计划中某些工作的开始时间，使资源分布满足某种要求。

资源优化的前提条件如下。

(1) 在优化过程中，不改变工作之间的逻辑关系。

(2) 在优化过程中，不改变工作的持续时间。

(3) 在优化过程中，不改变工作的资源强度（一项工作在单位时间内所需的某种资源的数量)。

(4) 除规定可中断的工作外，一般不允许中断工作，应保持其连续性。

资源优化主要有“资源有限-工期最短”和“工期固定-资源均衡”两种情况。

“资源有限-工期最短”的优化是通过调整计划安排，在满足资源限制条件下，使工期延长最少；“工期固定-资源均衡”的优化是在工期保持不变的条件下，通过调整计划安排，使资源需用量尽可能均衡，即整个工程每个单位时间的资源需用量不出现过大的高峰和低谷。

下面仅介绍“资源有限-工期最短”的资源优化步骤与方法。

(1) 按各项工作的最早开始时间绘制时标网络计划，并计算每个时间单位的资源需用量。

(2) 从计划开始之日起，逐个检查每个时段资源需用量是否超过资源限量。

(3) 对超过资源限量的时段进行优化调整，采取将该时段内平行作业的工作转变成先后进行的方法，以降低该时段的资源需用量。

对于两项平行作业的工作 A 和工作 B，将工作 B 安排在工作 A 之后进行，则网络计划的工期增量为

$$\Delta T_{A,B}=EF_A-LS_B \tag{5-2}$$

式中　$\Delta T_{A,B}$——工作B安排在工作A之后进行，工期相应延长的时间。

将资源超限时段内平行作业的工作进行两两排序，选择$\Delta T_{A,B}$最小的方案，将相应的工作B安排在工作A之后进行，这样既可降低该时段的资源需用量，又可使网络计划的工期增量最小。

（4）绘制调整后的网络计划，重新计算每个时间单位的资源需用量。

（5）重复上述（2）～（4）步，直至网络计划任意时间单位的资源需用量均满足资源限量为止。

【例5-8】 已知某工程双代号网络计划如图5-25所示，图中箭线上方【】内的数字为工作的资源强度，箭线下方的数字为工作的持续时间（单位为天）。假定资源限量$R_a=12$，试对其进行“资源有限-工期最短”的优化。

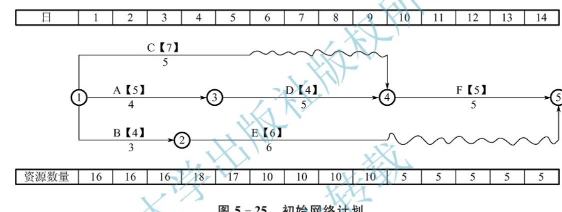


图5-25　初始网络计划

【解】（1）计算网络计划每个时间单位的资源需用量，如图5-25下方数字所示。

（2）逐日检查，发现第1～3天的资源需用量超过资源限量，必须调整。

（3）在第1～3天有工作C、A、B平行作业，利用式(5-2)计算工期延长值，结果见表5-5。

表5-5　第1～3天ΔT计算表

工作代号	EF	LS	$\Delta T_{C,A}$	$\Delta T_{A,C}$	$\Delta T_{C,B}$	$\Delta T_{B,C}$	$\Delta T_{A,B}$	$\Delta T_{B,A}$
C	5	4	5	0				
A	4	0			0	−1		
B	3	5					−1	3

由表5-5可知，工期增量$\Delta T_{B,C}=\Delta T_{A,B}=-1$最小，说明将工作C安排在工作B之后或将工作B安排在工作A之后工期不延长。但从资源强度来看，应选择将工作B安排在工作A之后进行，据此重新绘制网络计划并计算资源需用量，第一次调整后的网络计划如图5-26所示。

（4）由图5-26可知，第5天存在资源超限，必须调整。

（5）对第5天平行进行的工作进行工期延长值计算，结果见表5-6。

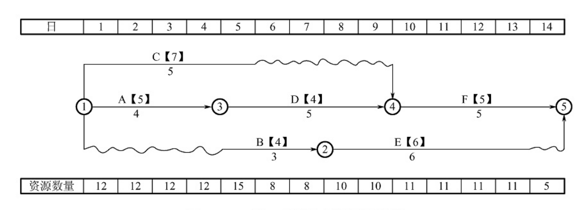


图 5－26　第一次调整后的网络计划

表 5－6　第 5 天 ΔT 计算表

工作代号	EF	LS	$\Delta T_{C,D}$	$\Delta T_{D,C}$	$\Delta T_{C,B}$	$\Delta T_{B,C}$	$\Delta T_{D,B}$	$\Delta T_{B,D}$
C	5	4	1	5				
D	9	4			0	2		
B	7	5					4	3

选择其中最小的工期延长值，即 $\Delta T_{C,B}=0$，将相应的工作 B 移到工作 C 后进行，则工期不延长，第二次调整后的网络计划如图 5－27 所示。

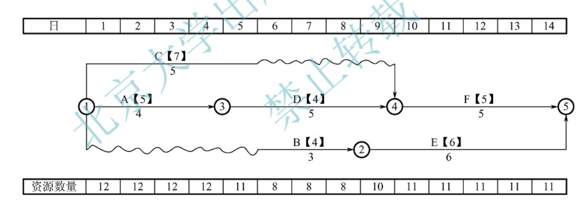


图 5－27　第二次调整后的网络计划（最终优化结果）

（6）由图 5－27 可知，此时整个工期范围内的资源需用量均未超过资源限量，因此图 5－27 所示即为优化后的最终网络计划，其最短工期为 14 天。



5.5　工期索赔

在建设工程施工过程中，施工进度计划主要用来控制施工进度，同时也常用于施工索赔。

5.5.1 索赔概念

索赔是在经济活动中，合同当事人一方因对方违约，或其他过错或无法防止的外因而受到损失时，要求对方给予赔偿或补偿的活动。

建设工程索赔通常是指在工程合同履行过程中，合同当事人一方因对方不履行或未能正确履行合同或者由于其他非自身因素而受到经济损失或权利损害，通过合同规定的程序向对方提出经济或时间补偿要求的行为。

施工索赔包括索赔和反索赔，按照通常的合同管理习惯，一般是将承包方向发包方提出的补偿要求称为索赔，而将发包方向承包方进行的索赔称为反索赔。索赔和反索赔都是建筑工程施工合同履行过程中正常的工程管理行为。

大多数情况下的施工索赔是指承包商由于非自身原因，发生合同规定之外的额外工作或损失时，向业主提出费用或时间补偿要求的活动。

按照索赔的目的，施工索赔可分为工期索赔和费用索赔。在这里主要介绍工期索赔。

在建设工程施工过程中，工期的延长分为工程延误和工程延期两种。虽然它们都是使工程拖期，但由于性质不同，因而业主与承包单位所承担的责任也就不同。如果工期的延长是由于承包单位的原因或其承担责任的拖延，则属于工程延误，由此造成的一切损失应由承包单位承担，承包单位需承担赶工的全部额外费用，同时业主还有权对承包单位施行误期违约罚款；如果工期的延长是非承包单位应承担的责任，则属于工程延期，这样承包单位不仅有权要求延长工期，而且可能还有权向业主提出赔偿费用的要求，以弥补由此造成的额外损失。因此，监理工程师是否将施工过程中工期的延长批准为工程延期，是否给予工期索赔或工期与费用同时索赔，对业主和承包单位都十分重要。

5.5.2 构成工程延期索赔条件的事件

（1）不可抗力：指合同当事人不能预见、不能避免且不能克服的客观情况，如异常恶劣的气候、地震、洪水、爆炸、空中飞行物坠落等。

（2）因工程变更指令（含设计变更、发包人提出的工程变更、监理工程师提出的工程变更及承包人提出并经监理工程师批准的变更）导致工程量增加。

（3）业主的要求、业主应承担的工作如场地、资料等提供延期，以及业主提供的材料、设备等有问题。

（4）不利的自然条件如地质条件的变化。

（5）文物及地下障碍物。

（6）合同所涉及的任何可能造成工程延期的原因，如延期交图、设计变更、工程暂停、对合格工程的破坏检查等。

5.5.3 工程延期索赔成立的条件

（1）合同条件。工程延期成立必须符合合同条件，导致工程拖延的原因应确实属于非承包商责任，否则不能认为是工程延期，这是工程延期成立的一条根本原则。



（2）影响工期。发生工程延期的事件，还要考虑是否造成实际损失，是否影响工期。当这些工程延期事件处在施工进度计划的关键线路上时，必将影响工期。当这些工程延期事件发生在非关键线路上，且延长的时间并未超过其总时差时，即使符合合同条件，也不能批准工程延期成立；若延长的时间超过总时差，则必将影响工期，应批准工程延期成立，工程延期的时间根据某项拖延时间与其总时差的差值考虑。

（3）及时性原则。承包人按合同规定的程序和时间，提交索赔意向通知和索赔报告。

以上三个条件必须同时具备，缺一不可。

5.5.4 工期索赔的计算

在工期索赔中，首先要确定索赔事件发生对施工活动的影响及引起的变化，然后再分析施工活动变化对总工期的影响。

常用的计算索赔工期的方法有网络计划分析法、对比分析法、劳动生产率降低计算法、简单加总法等。

网络计划分析法是通过分析索赔事件发生前后网络计划工期的差异计算索赔工期的，是一种科学合理的计算方法，适用于各类工期索赔；对比分析法比较简单，适用于索赔事件仅影响单位工程或分部分项工程的工期，需由此而计算对总工期的影响；在索赔事件干扰正常施工，导致劳动生产率降低而使工期拖延时，可使用劳动生产率降低计算法计算索赔工期；简单加总法是指在施工过程中，由于恶劣气候、停电、停水及意外风险造成全面停工而导致工期拖延时，可以一一列举各种原因引起的停工天数，累加结果即可作为索赔天数。但应用简单加总法时应注意：由多项索赔事件引起的总工期索赔，不可以用各单项工期索赔天数简单相加的办法，最好用网络分析法计算索赔工期。

下面以网络计划分析法为例，说明工期索赔的计算。

【例 5－9】 某办公楼工程，建筑面积为 5500m^2，框架结构，独立柱基础，上设承台梁，独立柱基础埋深为 1.5m，地质勘察报告中地基基础持力层为中砂层，基础施工钢材由建设单位供应。基础工程施工分为两个流水段，组织流水施工，根据工期要求编制了工程基础项目的施工进度计划，并绘出了双代号网络计划图，如图 5－28 所示。

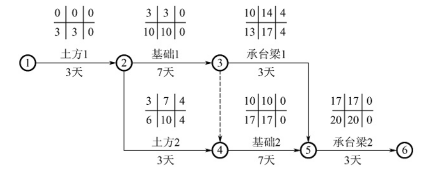


图 5－28　某办公楼工程双代号网络计划

在工程施工中发生如下事件。

事件一：土方 2 施工中，开挖后发现局部基础地基持力层为软弱层，需进行处理，工期延误 6 天。

事件二：承台梁1施工中，因施工用钢材未按时进场，造成工期延期3天。

事件三：基础2施工时，因施工总承包单位原因造成工程质量事故，返工致使工期延期5天。

(1) 指出基础工程网络计划的关键线路，并计算出该基础工程计划工期。

(2) 针对本案例上述各事件，施工总承包单位是否可以提出工期索赔？分别说明理由。

(3) 对索赔成立的事件，总工期可以顺延几天？实际工期是多少天？

(4) 上述事件发生后，本工程网络计划的关键线路是否发生改变？如有改变，请指出新的关键线路。

【解】(1) 关键线路为①→②→③→④→⑤→⑥，计划工期=3+7+7+3=20(天)。

(2) 对事件一，施工总包单位可提出工期索赔，因为该事件属于建设单位应承担的责任，而且延误时间超过了工作的总时差；

对事件二不可以提出，因为虽该事件属建设单位的责任，但延误的时间未超过总时差；

对事件三也不可以提出，因为该事件属于施工总承包单位的责任。

(3) 总工期可顺延2天。实际工期为27天。

(4) 关键线路发生变化，新的关键线路为①→②→④→⑤→⑥。

【案例】北京×××项目施工进度控制措施

1. 项目概况

北京×××项目位于国贸立交桥东北角，北至光华路，东至针织路，南至建国路绿化带，西至东三环辅路；占地约30公顷，规划建筑面积约为150万m^2，建成后将成为集写字楼、酒店、会展中心、文化娱乐等设施为一体的高档商务区。

建设用地主要包含地下市政公共空间及17个二级开发地块，如图5-29所示。其中被誉为北京第一高楼的“中国尊”总高度为528m，位于整个建筑群的中轴线上，其基坑深度37.8m，为北京第一深基坑。

该项目的工程及水文地质状况如图5-30所示。



图5-29 建设用地

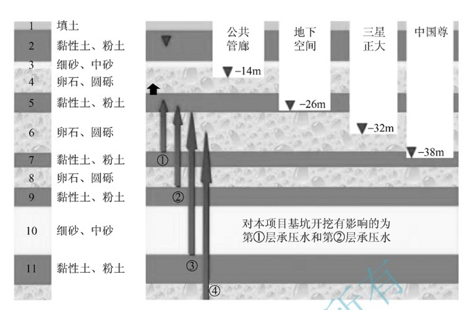


图 5-30 工程及水文地质状况

2. 进度控制措施

地下空间基坑深度约为 27.2m，管廊基坑深度为 14.5m，而各二级地块大部分基坑深度在 30m 以上，其中“中国尊”深度为 37.8m。相邻地块基底高差部位的支护及土方开挖，是进度控制需考虑的对象。

为便于一体化施工组织管理，将整个建设场地分为六个工区，分别对待，如图 5-31 所示。

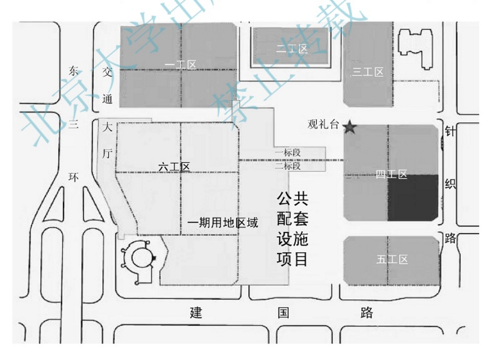


图 5-31 建设场地划分示意

(1) 公共空间与管廊基坑施工时，与各二级地块相邻部位不设置直立桩锚支护体系，改为大放坡预应力土钉墙支护，放坡场地越过红线设置在对应位置二级地块范围内，降低了支护施工费用。

(2) 公共空间及管廊结构下最外侧基础桩施工时加密（或者改为地连墙），兼顾二级地块基坑支护需要。相邻地块施工时不需再另做支护结构，仅需根据地块基坑深度的不同

进行锚杆设计，并随土方开挖分层进行锚杆施工，如图 5－32 所示。通过对支护结构整体位移的控制，既保证了基坑支护的整体稳定，又确保了上部结构的安全。

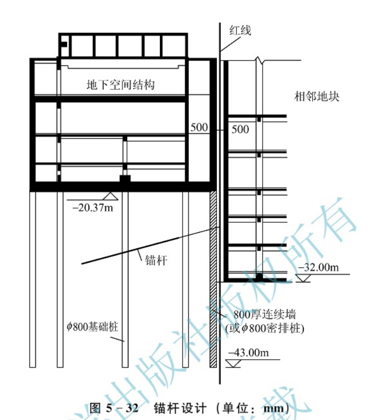


图 5－32　锚杆设计（单位：mm）

（3）地下空间及管廊施工时，利用二级地块场地作为公共空间土方施工的通道和放坡场地，以及结构施工时的物资周转场地。如地下空间及管廊施工时借用 Z14 地块作为运输通道及材料周转场地，地下空间及管廊竣工后，Z14 再投入施工。

（4）各相邻地块根据现场情况递次开发，相互借用场地，做到场地利用率最大化。如一工区四个地块施工顺序为 Z－1b、Z－2b、Z－2a、Z－1a，渐次利用场地有序开发，最后马道收尾设置在西北角 Z－1a 地块，如图 5－33 所示。

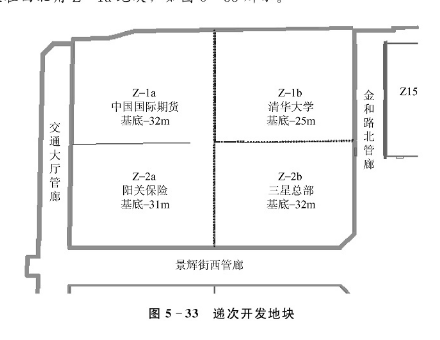


图 5－33　递次开发地块

(5) 通过优化施工顺序，深度较大的二级地块基坑简化为“坑中坑”模式，支护及降水难度大为降低。如Z15基坑深度37.8m，采用“一体化”模式后，与地下空间一体开挖，后期支护深度仅为11m，如图5-34所示；一工区三星地块基坑深度32m，采用“一体化”模式后，后期支护深度仅为18m（南侧）和7m（北侧）。



图5-34　Z15基坑采用“一体化”模式开挖现场

3. 总结

从施工时间先后角度考虑的方案如图5-35所示。

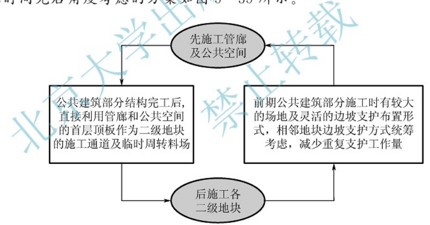


图5-35　从施工时间先后角度考虑的方案

从施工场地部署方面考虑的方案如图5-36所示。

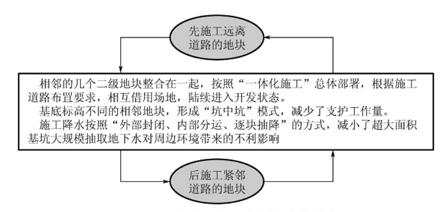


图5-36　从施工场地部署考虑的方案

管廊下最外侧基础桩改为地下连续墙，厚度800mm，兼作管廊基底的承载桩及二级地块的止水结构，避免二级地块开挖后再施工止水结构，节省了工期及造价。

一工区实行“一体化施工”战略，四个地块归结为一个大基坑进行外围支护和封闭降水，费用由四个业主分摊，比各自独立进行开发费用节省一半，基坑支护工作量减少，工期节约近120天。

小　结

进度计划的编制、实施、检查和调整（优化）是项目进度管理与应用的4个方面。本章主要介绍了建设工程项目中施工进度计划控制的相关知识，如进度计划的影响因素、进度计划控制的依据、目标和方法，前锋线检查法和工期索赔等。其中着重阐述了工期优化、费用优化和资源优化，为专业技术人员提供知识储备。



一、思考题

1. 施工进度计划检查的方法有哪些？
2. 什么是前锋线？
3. 什么是进度计划优化？
4. 什么是工期优化、费用优化、资源优化？
5. 工期索赔成立的条件有哪些？

二、案例题

1. 某工程项目，建设单位与施工单位按《建设工程施工合同（示范文本）》签订了合同，经总监理工程师批准的施工总进度计划如图5－37所示（时间单位为天），各项工作均按最早开始时间安排且匀速施工。

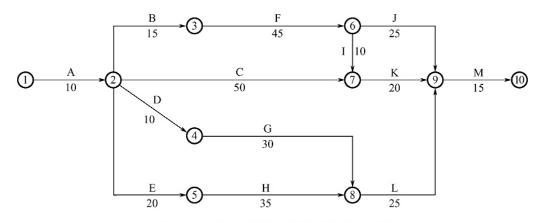


图5－37　施工总进度计划（单位：天）

由于施工单位人员及材料组织不到位，工程开工后第33天上班时工作F才开始。为

确保按合同工期竣工，施工单位决定调整施工总进度计划。经分析，各项未完成工作的赶工费率及可缩短时间见表5-7。

表5-7　赶工费率及可缩短时间

工作名称	C	F	G	H	I	J	K	L	M
可缩短时间/天	8	6	3	5	2	5	10	6	1
赶工费率/(万元/天)	0.7	1.2	2.2	0.5	1.5	1.8	1.0	1.0	2.0

为使赶工费最少，施工单位应如何调整施工总进度计划（写出分析与调整过程）？赶工费总计多少万元？

2. 已知某网络计划如图5-38所示，箭线下方括号外数字为工作的正常持续时间，括号内数字为工作的最短持续时间；箭线上方括号内数字为优选系数。在进行工期优化时，应先选择优选系数小的工作缩短持续时间。要求目标工期为12天，试对其进行工期优化。

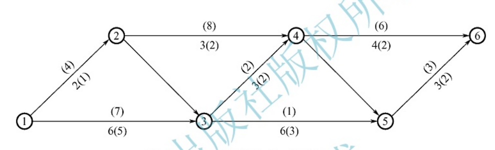


图5-38　某网络计划（单位：天）

3. 已知某网络计划如图5-39所示，箭线下方括号外数字为工作的正常持续时间，括号内数字为工作的最短持续时间；箭线上方括号内数字为优选系数。在进行工期优化时，应先选择优选系数小的工作缩短持续时间。要求工期为15天，试对其进行工期优化。

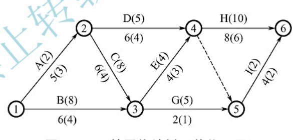


图5-39　某网络计划（单位：天）

4. 某工程双代号网络计划如图5-40所示，箭线下方括号外数字为工作的正常持续时间，括号内数字为工作的最短持续时间；箭线上方括号外数字为工作的正常持续时间的费用，括号内数字为工作的最短持续时间的费用（元）。已知间接费率为150元/天，试求出费用最少的工期。

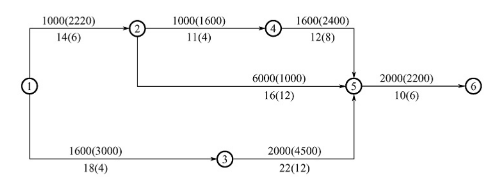


图5-40　某工程双代号网络计划（单位：元，天）

5. 已知某工程网络计划如图 5－41 所示，箭线下方括号外数字为工作的正常持续时间，括号内数字为工作的最短持续时间；箭线上方括号外数字为工作的正常持续时间时的直接费，括号内数字为工作的最短持续时间时的直接费（万元）。整个工程的间接费率为 0.35 万元/天。试对此计划进行费用优化，求出费用最少的相应工期。

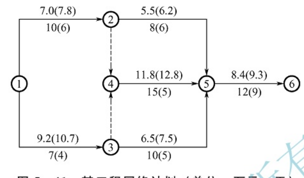


图 5－41　某工程网络计划（单位：万元，天）

6. 已知某网络计划如图 5－42 所示，假定每天可能供应的资源数量为常数（10 个单位）。箭线下方为工作持续时间，箭线上方为资源强度。试进行资源有限－工期最短的优化。

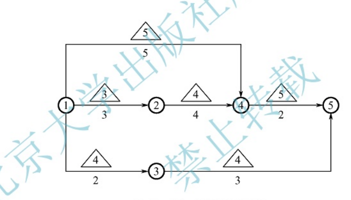


图 5－42　某网络计划

三、岗位（执业）资格考试真题

（一）单项选择题

1. 在某工程网络计划中，如果发现工作 L 的总时差和自由时差分别为 4 天和 2 天，监理工程师检查实际进度时发现该工作的持续时间延长了 1 天，则说明工作 L 的实际进度（　　）。

A. 不影响总工期，但影响其后续工作

B. 既不影响总工期，也不影响其后续工作

C. 影响工期 1 天，但不影响其后续工作

D. 既影响工期 1 天，也影响后续工作 1 天

2. 在某工程网络计划中，已知工作 M 的总时差和自由时差分别为 4 天和 2 天，监理工程师检查实际进度时发现该工作的持续时间延长了 5 天，说明此时工作 M 的实际进度（　　）。

A. 既不影响总工期，也不影响其后续工作的正常进行

B. 不影响总工期，但将其紧后工作的开始时间推迟 5 天

C. 将其后续工作的开始时间推迟 5 天，并使总工期延长 3 天

D. 将其后续工作的开始时间推迟 3 天，并使总工期延长 1 天

3. 建设工程项目进度控制措施中，采用信息技术辅助进度控制属于进度控制的（　　）措施。

A. 经济　　B. 技术　　C. 组织　　D. 管理

4. 施工进度控制的主要工作环节包括：①编制资源需求计划；②编制施工进度计划；③组织进度计划的实施；④施工进度计划的检查与调整。其正确的工作程序是（　　）。

A. ①—②—③—④　　B. ②—①—③—④

C. ②—①—④—③　　D. ①—③—②—④

5. 项目部针对施工进度滞后问题，提出了落实管理人员责任、优化工作流程、改进施工方法、强化奖惩机制等措施，其中属于技术措施的是（　　）。

A. 落实管理人员责任　　B. 优化工作流程

C. 改进施工方法　　D. 强化奖惩机制

6. 为确保建设工程项目进度目标的实现，编制与施工进度计划相适应的资源需求计划，以反映工程实施各阶段所需要的资源。这属于进度控制的（　　）措施。

A. 组织　　B. 管理　　C. 经济　　D. 技术

7. 下列施工方进度控制的措施中，属于组织措施的是（　　）。

A. 优化工程施工方案　　B. 应用 BIM 信息模型

C. 制定进度控制工作流程　　D. 采用网络计划技术

（二）多项选择题

下列施工方进度控制的措施中，属于管理措施的有（　　）。

A. 构建施工监督控制的组织体系

B. 用工程网络计划技术进行进度管理

C. 选择合理的合同结构

D. 采取进度风险的管理措施

E. 编制与施工进度相适应的资源需求计划

（三）案例题

1. 某房屋建筑工程，建筑面积为 6800m²，采用钢筋混凝土框架结构，外墙外保温节能体系。施工单位提交了室内装饰装修工期进度网络计划，如图 5－43 所示，时间单位为周。经监理工程师确认后按此组织施工。

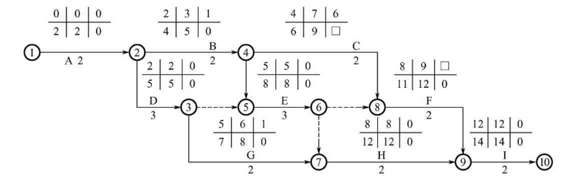


图 5－43　某工程室内装饰装修工期进度网络计划（单位：周）

(1) 列式计算工作C和工作F空出的时间参数，并确定该网络图的计算工期（单位为周）和关键线路。

(2) 在室内装饰装修工程施工过程中，因设计变更导致工作C的持续时间为36天，施工单位以设计变更影响施工进度为由提出22天的工期索赔。请问索赔是否成立？说明理由。

2. 某房屋建筑工程，建筑面积为6000m²，采用钢筋混凝土独立基础，现浇钢筋混凝土框架结构，填充墙采用蒸压加气混凝土砌块砌筑。施工总承包单位按要求向项目监理机构提交了室内装饰工程的时标网络计划图，如图5-44所示，批准后按此组织实施。

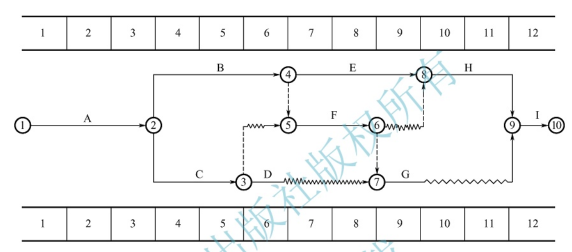


图5-44 室内装饰工程的时标网络计划（单位：周）

(1) 请问室内装饰工程的工期为多少天？写出该网络计划的关键线路。

(2) 在室内装饰工程施工过程中，因合同约定由建设单位采购供应的某装饰材料交付时间延误，导致工程F的结束时间拖延14天，为此施工总承包单位以建设单位延误供应材料为由，向项目监理机构提出工期索赔14天的申请。请问施工总承包单位提出的工期索赔14天是否成立？说明理由。

3. 某房屋建筑工程，建筑面积为26800m²，地下二层，地上七层。在监理工程师要求的时间内，施工总承包单位提交了室内装修工程的双代号时标网络计划图，如图5-45所示。经监理工程师确认后按此组织施工。

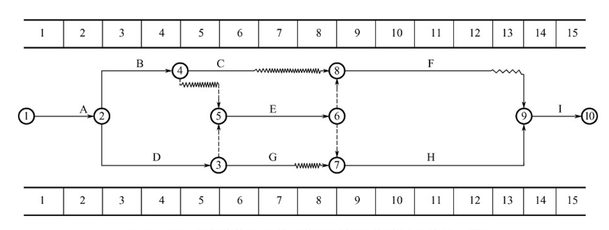


图5-45 室内装饰工程的双代号时标网络计划（单位：周）

(1) 根据进度计划网络图，写出其计算工期；分别计算工作C与工作F的总时差和自由时差。

(2) 在室内装修工程施工过程中，因建设单位设计变更导致工作C的实际施工时间为35天。施工总承包单位以设计变更影响进度为由，向项目监理提出工期索赔21天的要求。请问施工总承包单位提出的工期索赔天数是否成立？说明理由。

4. 某工程主体结构验收后，施工单位对后续工作进度以时标网络图形式做出安排，如图5-46所示（时间单位为周）。在第6周末时，建设单位要求提前一周完工。经测算，工作D、E、F、G、H均可压缩一周（工作I不可压缩），所需增加的成本分别为8万元、10万元、4万元、12万元、13万元。施工单位压缩了工序时间，实现提前一周完工。施工单位在压缩网络计划时，只能以周为单位进行压缩。请问其最合理的方式应该压缩哪项工作？需增加成本多少万元？

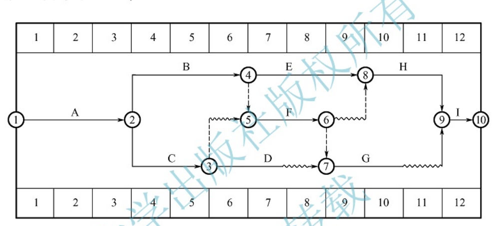


图5-46　施工进度时标网络计划（单位：周）

5. 某建筑施工单位在新建办公楼工程前，按《建筑施工组织设计规范》规定的单位工程施工组织设计应包含的各项基本内容，编制了本工程的施工组织设计，经相应人员审批后报监理机构，在总监理工程师审批签字后按此组织施工。在该施工组织设计中，施工进度计划以时标网络图（时间单位为月）形式表示。在第8个月末，施工单位对现场实际进度进行检查，并在时标网络图中绘制了实际进度前锋线，如图5-47所示。针对检查中发现实际进度与计划进度不符的情况，施工单位均在规定时限内提出索赔意向通知，并在监理机构同意的时间内上报了相应的工期索赔资料。经监理工程师核实，工序E的进度偏差是因为建设单位供应材料原因所导致，工序F的进度偏差是因为当地政令性停工所致，

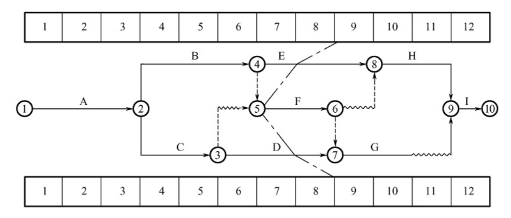


图5-47　施工进度时标网络计划（单位：月）

工序D的进度偏差是因为工人返乡农忙原因。针对上述情况，监理工程师对三项工期索赔分别予以批复。

（1）请问本工程的施工组织设计中应包含哪些内容？

（2）施工单位哪些人员具备审批单位工程施工组织设计的资格？

（3）写出网络图中前锋线所涉及各工序的实际进度偏差情况；如后续工作仍按原计划的速度进行，则本工程完工的实际工期是多少个月？

（4）针对工序E、工序F、工序D，分别判断施工单位上报的三项工期索赔是否成立，并说明理由。

6. 某高校建设一学生宿舍，建设过程中为了加快施工进度，施工单位决定施工进度计划执行图5-48所示的时标网络计划，开工后第6天检查，结果为A_3还需要3天，B_2刚刚开始，C_1还需要3天。

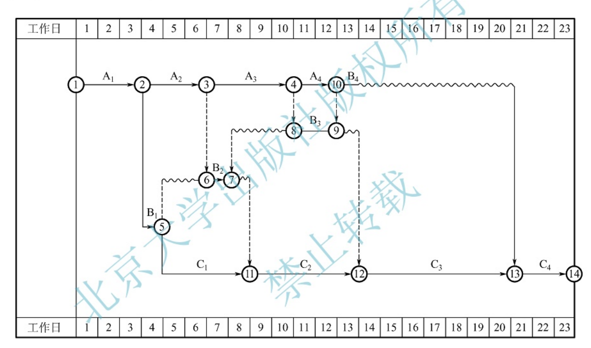


图5-48　施工进度时标网络计划（单位：天）

（1）依据第6天检查的结果，请在图示的时标网络计划上绘制前锋线；

（2）判读A_3、B_2、C_1的进度偏差；

（3）说明基础的流水施工工期与时标网络计划工期不同的原因；

（4）施工单位决定对时标网络计划的后续工作进行工期优化，工期优化的步骤有哪些？



【单元5参考答案】



单元6 施工平面布置图

施工员岗位工作标准

1. 能正确绘制施工平面布置图。
2. 能够科学合理地进行施工现场布置。

知识目标

1. 掌握施工平面布置图的基本规定。
2. 掌握施工平面布置图的绘制方法和步骤。
3. 熟练应用施工平面布置图进行现场管理。

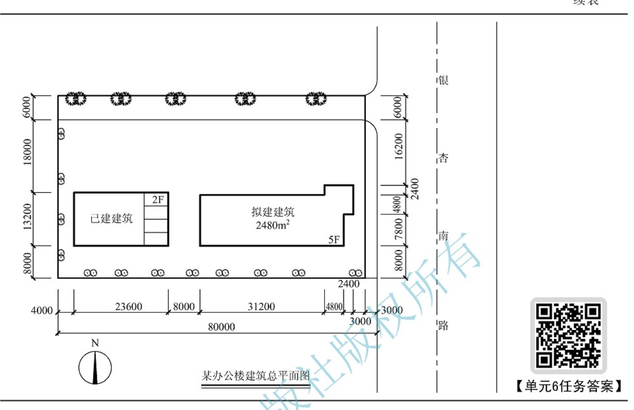
典型工作任务

任务描述	单位工程施工平面布置图绘制
考核时量	3小时
设计条件及要求	

(1) 某工程为五层办公楼，建筑面积2480m^2，采用柱下钢筋混凝土独立基础，现浇框架结构，现浇楼板及屋面板。工程位于湖南某地级市市区，建筑总平面图如下图所示，施工采用竹胶合板模板，落地式钢管扣件脚手架；垂直运输机械采用钢井架，现场设混凝土及砂浆搅拌站，钢筋、模板现场加工制作，地方性材料考虑10天左右的储存量，现场堆放；班组工人在工地吃饭但不需住宿，施工现场“三通一平”已经完成。

(2) 用AutoCAD软件（或天正建筑软件）绘制该工程施工平面图，比例1∶200，A2号图幅。

续表



施工现场平面布置是指在施工用地范围内，对各项生产、生活设施及其他辅助设施等进行规划和布置。

施工现场就是建筑产品的组装厂，由于建筑工程和施工场地的千差万别，使得施工现场平面布置因人、因地而异。合理布置施工现场，对保证工程施工顺利进行具有重要意义。施工现场平面布置应遵循方便、经济、高效、安全、环保、节能等原则。

6.1 施工平面布置图的基本规定

施工平面布置图是在拟建工程的建筑平面上（包括周围环境），布置为施工服务的各种临时建筑、临时设施及材料、施工机械等，是施工方案在现场的空间体现，反映已有建筑与拟建工程之间、临时建筑与临时设施之间的相互空间关系。其布置得恰当与否、执行得好坏与否，对现场的施工组织、文明施工、施工进度、工程成本、工程质量和安全都将产生直接的影响。

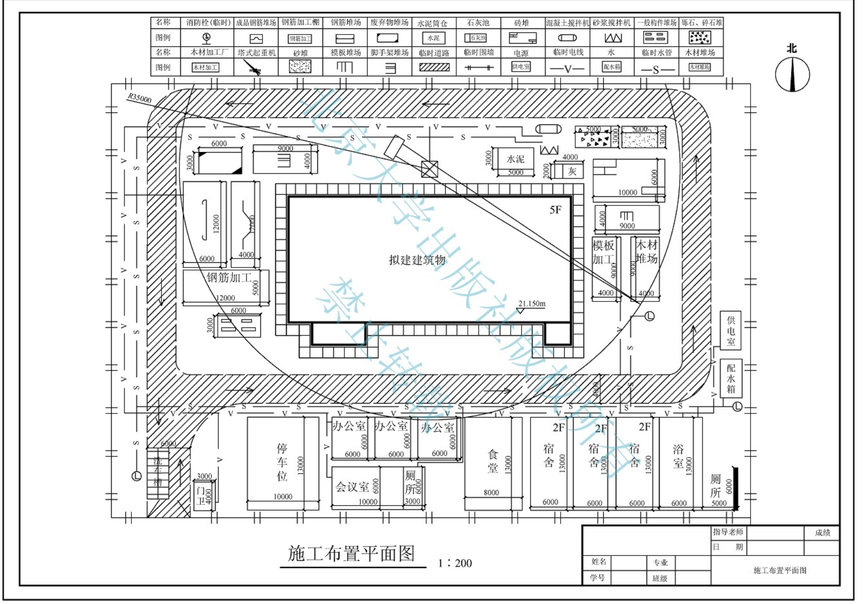
施工现场平面布置图一般需分施工阶段来编制，如分为基础阶段施工平面布置图、主体阶段结构施工平面布置图、装修阶段工程施工平面布置图等。

1. 绘图比例

对于单位工程施工平面布置图，其绘制比例一般为 1∶200～1∶500。

对于施工总平面布置图，其绘制比例一般为 1∶1000 或 1∶2000。

在绘制施工平面布置图时，比例须注写在图名旁，如图 6 - 1 所示。



名称
图例
消防栓(临时)
成品钢筋堆场
钢筋加工棚
钢筋堆场
废弃物堆场
水泥筒仓
石灰池
砖堆
混凝土搅拌机
砂浆搅拌机
一般构件堆场
砾石、碎石堆
木材加工厂
塔式起重机
砂堆
模板堆场
脚手架堆场
临时道路
临时围墙
电源
临时电线
水
临时水管
木材堆场
北
R35000
水泥
灰
拟建建筑物
5F
21.150m
钢筋加工
模板加工
木材堆场
供电室
配水箱
洗车槽
门卫
停车位
办公室
会议室
厕所
食堂
2F
宿舍
浴室
施工布置平面图
1：200
指导老师
成绩
日期
姓名
专业
学号
班级
施工布置平面图

图6-1 绘图比例注写

2. 图纸幅面尺寸

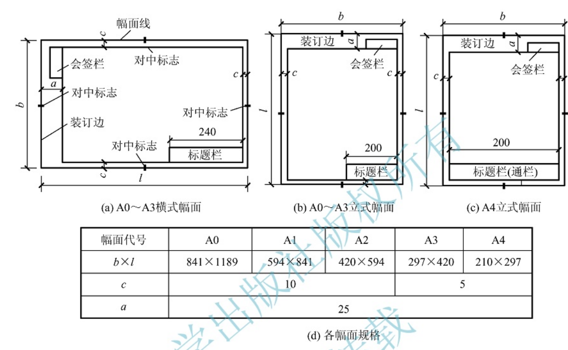


【图纸折叠方法】

单位工程施工平面布置图，一般选用A2的图纸进行绘制。

对于施工总平面布置图，按照其绘图比例及绘制范围，一般选用A1或A2的图纸进行绘制。

常用的图纸幅面尺寸如图6-2所示。



幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
$b \times l$	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297
c	10			5	
a	25				

(d) 各幅面规格

图6-2 常用的图纸幅面尺寸（单位：mm）

3. 图线

施工平面布置图中常用图线见表6-1。

表6-1 施工平面布置图常用图线

名称		线型	线宽	一般用途
实线	粗	▬▬▬	b	主要可见轮廓线
	中组	———	$0.75b$	可见轮廓线
	中	———	$0.5b$	可见轮廓线、尺寸线、变更云线
	细	———	$0.25b$	图例填充线、家具线

4. 图例

施工平面布置图常用图例见表6-2。

表6-2 施工平面布置图常用图例

序号	名称	图例	说明
1	水准点	⊗ 点号/高程	
2	拟建正式房屋		

续表

序号	名　称	图　例	说　明
3	原有房屋		用细实线表示
4	计划扩建的建筑物		用中粗虚线表示
5	拆除的建筑物		用细实线表示
6	临时房屋：密闭式及敞棚式		
7	拟建的各种材料围墙		
8	临时围墙		
9	建筑工地界限		
10	现有永久公路		
11	施工用临时道路		
12	临时露天堆场		需要时可注明材料名称
13	其他材料露天堆场或露天作业场		需要时可注明材料名称
14	敞棚		
15	土堆		
16	砂堆		
17	砾石、碎石堆		
18	块石堆		
19	砖堆		
20	钢筋堆场		

续表

序号	名　　称	图　　例	说　　明
21	型钢堆场		
22	铁管堆场		
23	钢筋成品场		
24	钢结构场		
25	屋面板存放场		
26	一般构件存放场		
27	矿渣、灰渣堆		
28	废料堆场		
29	脚手、模板堆场		
30	原有的上水管线		
31	临时给水管线	—S—S—	
32	给水阀门（水嘴）		
33	临时低压线路	—V—V—	
34	临时高压线路	—VV—VV—	3～5kV
35	消防栓（原有）		
36	消防栓（临时）	L	
37	水源	水	
38	电源		
39	原有化粪池		
40	拟建化粪池		

续表

序号	名　　称	图　　例	说　　明
41	塔式起重机		
42	井架		
43	门架		
44	卷扬机		
45	履带式起重机		
46	灰浆搅拌机		
47	脚手架		
48	混凝土搅拌机		
49	淋灰池	灰	

5. 指北针

在施工平面布置图、总平面布置图及底层建筑平面图上，一般都画有指北针，用以指明建筑物的朝向，如图 6-3 所示。

指北针画法如下。

(1) 圆的直径宜为 24mm，用细实线绘制。

(2) 指针尾段的宽度为 3mm，需用较大直径绘制指北针时，指针尾部宽度宜为圆的直径的 1/8。

(3) 指针涂成黑色，针尖指向北方，并注“北”或“N”字。

6. 风玫瑰图

风玫瑰图用来表示该地区常年的风向频率和房屋的朝向，一般绘制在施工总平面布置图和建筑总平面图中，如图 6-4 所示。

风玫瑰画法：根据当地多年平均统计的各个方向吹风次数的百分数，按一定比例绘制。

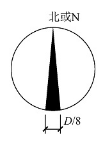


图 6-3　指北针

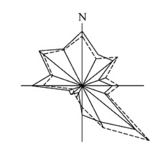


图 6-4　风玫瑰图

风玫瑰图在阅读时需注意以下几点。

(1) 风的吹向是指从外面吹向地区中心的方向。

(2) 实线表示全年风向频率。

(3) 虚线表示夏季风向频率（按照六、七、八三个月进行统计）。

7. 参考资料

进行施工平面布置时，各类相关参考资料见表 6－3～表 6－7。

表 6－3　现场作业棚所需面积参考资料

序号	名　　称	单　　位	面积/m^2	备　　注
1	电锯房	m^2	80	34～35 寸圆锯一台
2	电锯房	m^2	40	1 台小圆锯
3	水泵房	m^2/台	3～8	
4	发电机房	m^2/台	10～20	
5	搅拌棚	m^2/台	10～18	
6	卷扬机棚	m^2/台	6～12	
7	木工作业棚	m^2/人	2	
8	钢筋作业棚	m^2/人	3	
9	烘炉房	m^2	30～40	
10	焊工房	m^2	20～30	
11	电工房	m^2	15	
12	白铁工房	m^2	20	
13	油漆工房	m^2	20	
14	机、钳子工修理房	m^2	20	
15	立式锅炉房	m^2/台	5～10	
16	空压机棚（移动式）	m^2/台	18	
17	空压机棚（固定式）	m^2/台	9	

表 6－4　现场机运站、机修间、停放场所所需面积参考资料

序号	施工机械名称	所需场地/(m^2/台)	存放方式	检修间所需建筑面积	
				内容	数量/m^2
一、起重、土方机械类				10～20 台设一个检修台位（每增加 20 台增设一个检修台位）	200（增 150）
1	塔式起重机	200～300	露天		
2	履带式起重机	100～125	露天		
3	履带式正铲或反铲、拖式铲运机、轮胎式起重机	75～100	露天		
4	推土机、拖拉机、压路机	25～35	露天		
5	汽车式起重机	20～30	露天或室内		

续表

序号	施工机械名称	所需场地/(m²/台)	存放方式	检修间所需建筑面积	
				内容	数量/m²
二、运输机械类				每20台设一个检修台位（每增加20台增设一个检修台位）	170（增160）
6	汽车（室内）	20～30	一般情况下室内不小于10%		
	汽车（室外）	40～60			
7	平板拖车	100～150			
三、其他机械类				每50台设一个检修台位（每增加50台增设一个检修台位）	50（增50）
8	搅拌机、卷扬机、电焊机、电动机、水泵、空压机、油泵等	4～6	一般情况下室内占30%，露天占70%		

表6-5　临时加工厂所需面积参考资料

序号	加工厂名	年产量		单位产量所需建筑面积	占地总面积/m²	备注
		单位	数量			
1	混凝土搅拌站	m³	3200	0.022m²/m³	按砂石堆场考虑	400L搅拌机2台
			4800	0.021m²/m³		400L搅拌机3台
			6400	0.020m²/m³		400L搅拌机4台
2	临时性混凝土预制厂	m³	1000	0.025m²/m³	2000	生产屋面板和中小型梁、柱、板等，配有蒸汽养护设施
			2000	0.20m²/m³	3000	
			3000	0.15m²/m³	4000	
			5000	0.125m²/m³	小于6000	
3	半永久性混凝土预制厂	m³	3000	0.6m²/m³	9000～12000	
			5000	0.4m²/m³	12000～15000	
			10000	0.3m²/m³	15000～20000	
4	木材加工厂	m³	16000	0.0244m²/m³	18000～3600	进行原木、大方加工
			24000	0.0199m²/m³	2200～4800	
			30000	0.018m²/m³	3000～5500	
	综合木工加工厂	m³	200	0.30m²/m³	100	加工门窗、模板、地板、屋架等
			600	0.25m²/m³	200	
			1000	0.20m²/m³	300	
			2000	0.15m²/m³	420	
	粗木加工厂	m³	5000	0.12m²/m³	1350	加工屋架、模板
			10000	0.10m²/m³	2500	
			15000	0.09m²/m³	3750	
			20000	0.08m²/m³	4800	

续表

<table>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th rowspan="2" colspan="2">加工厂名</th><th colspan="2">年产量</th><th rowspan="2">单位产量所需建筑面积</th><th rowspan="2">占地总面积/m^2</th><th rowspan="2">备注</th></tr>
<tr><th>单位</th><th>数量</th></tr>
<tr><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3" colspan="2">细木加工厂</td><td rowspan="3">万 m^3</td><td>5</td><td>0.140m^2/m^3</td><td>7000</td><td rowspan="3">加工、成型、焊接等</td></tr>
<tr><td>10</td><td>0.0114m^2/m^3</td><td>10000</td></tr>
<tr><td>15</td><td>0.0106m^2/m^3</td><td>14300</td></tr>
<tr><td rowspan="16">5</td><td rowspan="4" colspan="2">钢筋加工厂</td><td rowspan="4">t</td><td>200</td><td>0.35（m^2/t）</td><td>280～500</td><td rowspan="4">加工、成型、焊接</td></tr>
<tr><td>500</td><td>0.25（m^2/t）</td><td>380～750</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>0.20（m^2/t）</td><td>400～800</td></tr>
<tr><td>2000</td><td>0.15（m^2/t）</td><td>450～900</td></tr>
<tr><td rowspan="4">现场钢筋拉直或冷拉</td><td>拉直场</td><td colspan="4">所需场地长(70～90)m×宽(3～4)m</td><td>包括材料及成品堆放</td></tr>
<tr><td>卷扬机棚</td><td colspan="4">所需场地为 15～20m^2</td><td>3～5t 电动卷扬机一台</td></tr>
<tr><td>冷拉场</td><td colspan="4">所需场地长(40～60)m×宽(3～4)m</td><td>包括材料及成品堆放</td></tr>
<tr><td>时效场</td><td colspan="4">所需场地长(30～40)m×宽(6～8)m</td><td>包括材料及成品堆放</td></tr>
<tr><td rowspan="2">钢筋对焊</td><td>对焊场地</td><td colspan="4">所需场地长(30～40)m×宽(4～5)m</td><td>包括材料及成品堆放</td></tr>
<tr><td>对焊棚</td><td colspan="4">所需场地为 15～24m^2</td><td>包括材料及成品堆放，寒冷地区应适当增加</td></tr>
<tr><td rowspan="4">钢筋冷加工</td><td>冷拔、冷轧机</td><td colspan="4">所需场地为 40～50m^2/台</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>剪断机</td><td colspan="4">所需场地为 30～50m^2/台</td></tr>
<tr><td>弯曲机ф12 以下</td><td colspan="4">所需场地为 50～60m^2/台</td></tr>
<tr><td>弯曲机ф40 以下</td><td colspan="4">所需场地为 60～70m^2/台</td></tr>
<tr><td rowspan="4">6</td><td rowspan="4" colspan="2">金属结构加工（包括一般软件）</td><td colspan="4">年产 500t 所需场地为 10m^2/t</td><td rowspan="4">按一批加工数量计算</td></tr>
<tr><td colspan="4">年产 1000t 所需场地为 8m^2/t</td></tr>
<tr><td colspan="4">年产 2000t 所需场地为 6m^2/t</td></tr>
<tr><td colspan="4">年产 30000t 所需场地为 5m^2/t</td></tr>
<tr><td rowspan="3">7</td><td rowspan="3">石灰消化</td><td>贮灰池</td><td colspan="4">所需场地为 5×3=15(m^2)</td><td rowspan="3">每两个贮灰池配一套淋灰池和淋灰槽，每 600kg 石灰可消化 1m^3石灰膏</td></tr>
<tr><td>淋灰池</td><td colspan="4">所需场地为 4×3=12(m^2)</td></tr>
<tr><td>淋灰槽</td><td colspan="4">所需场地为 3×2=6(m^2)</td></tr>
<tr><td>8</td><td colspan="2">沥青锅场地</td><td colspan="4">所需场地为 20～24m^2</td><td>台班产量 1～1.5t/台</td></tr>
</table>

表 6-6 简易道路技术要求

指标名称	单位	技术标准
设计车速	km/h	≤20
路基宽度	m	双车道 6～6.5；单车道 4.4～5；困难地段 3.5
路面宽度	m	双车道 5～5.5；单车道 3～3.5
平面曲线最小半径	m	平原、丘陵地区 20；山区 15；回头弯道 12

续表

指标名称	单位	技术标准
最大纵坡	%	平原地区6；丘陵地区8；山区11
纵坡最短长度	m	平原地区100；山区50
桥面宽度	m	木桥4～4.5
桥涵载重等级	t	木桥涵7.8～10.4（汽-6～汽-8）

表6-7　行政、生活、福利、临时设施建筑面积参考资料（m^2/人）

序号	临时房屋名称	指标使用方法	参考指标	序号	临时房屋名称	指标使用方法	参考指标
一	办公室	使用人数	3～4	3	理发室	按高峰年平均人数	0.01～0.03
二	宿舍			4	俱乐部	按高峰年平均人数	0.1
1	单层通道	按高峰年（季）平均人数	2.5～3.0	5	小卖部	按高峰年平均人数	0.03
2	双层床	扣除不在工地居住人数	2.0～2.5	6	招待所	按高峰年平均人数	0.06
3	单层床	扣除不在工地居住人数	3.5～4.0	7	托儿所	按高峰年平均人数	0.03～0.06
三	家属宿舍	平均面积	16～25m^2/户	8	子弟学校	按高峰年平均人数	0.06～0.08
四	食堂	按高峰年平均人数	0.5～0.8	9	其他公用	按高峰年平均人数	0.05～0.10
	礼堂	按高峰年平均人数	0.6～0.9	六	小型		
五	其他合计	按高峰年平均人数	0.5～0.6	1	开水房	使用面积	10～40
1	医务所	按高峰年平均人数	0.05～0.07	2	厕所	按工地平均人数	0.02～0.07
2	浴室	按高峰年平均人数	0.07～0.1	3	工人休息室	按工地平均人数	0.15

6.2　施工总平面布置图

施工组织总设计（也称施工总体规划）是以一个建设项目或群体工程为编制对象，用以指导其施工全过程各项活动的技术、经济综合文件，是对建设项目施工组织的通盘规划。

施工组织总设计是整个建设项目或群体工程施工准备和施工的全局性、指导性文件，是为施工生产建立施工条件、集结施工力量、组织物资资源供应及进行现场生产与生活临时设施规划的依据，也是施工企业编制年度施工计划和单位工程施工组织设计的依据，还是实现建筑企业科学管理、保证施工任务最优完成的有效措施。

施工总平面布置图是在拟建项目的施工场地范围内，按照施工布置和施工总进度计划的要求，将拟建项目和各种临时设施进行合理部署的总体布置图，是施工组织设计的重要

内容，也是实现现场文明施工、节约施工用地、减少各种临时设施数量、降低工程费用的先决条件。

施工总平面布置图应按照规定的图例进行绘制，一般比例为1∶1000或1∶2000。

对于特大型建设项目，当施工工期较长或受到场地限制，施工场地需几次周转使用时，可按照几个阶段分别设计施工总平面布置图。

1. 施工总平面布置图的原则

施工总平面布置图应符合下列原则。

(1) 平面布置科学合理，施工场地占用面积少。

(2) 合理组织运输，减少二次搬运。

(3) 施工区域的划分和场地的临时占用应符合总体施工部署和施工流程的要求，减少相互干扰。

(4) 充分利用既有建（构）筑物和既有设施为项目施工服务，降低临时设施的建造费用。

(5) 临时设施应方便生产和生活，办公区、生活区和生产区宜分开设置。

(6) 符合节能、环保、安全和消防等要求。

(7) 遵守当地主管部门和建设单位关于施工现场安全文明施工的相关规定。

2. 施工总平面布置图的要求

施工总平面布置图应符合下列要求。

(1) 根据项目总体施工部署，绘制现场不同施工阶段（期）的总平面布置图。

(2) 施工总平面布置图的绘制应符合国家相关标准要求，并附必要说明。

施工总平面布置应按照项目分期（分批）施工计划进行布置，并绘制施工总平面布置图。一些特殊的内容如现场临时用电、临时用水布置等，当施工总平面布置图不能清晰表示时，也可单独绘制其平面布置图。

施工总平面布置图绘制应有比例关系，各种临时设施应标注外围尺寸，并有文字说明。

3. 施工总平面布置图的内容

施工总平面布置图应包括下列内容。

(1) 项目施工用地范围内的地形状况。

(2) 全部拟建的建（构）筑物和其他基础设施的位置。

(3) 项目施工用地范围内的加工设施、运输设施、存储设施、供电设施、供水供热设施、排水排污设施、临时施工道路和办公生活用房等。

(4) 施工现场必备的安全、消防、保卫和环境保护等设施。

(5) 相邻的地上、地下既有建（构）筑物及相关环境。

注意现场所有设施、用房应由施工总平面布置图绘制表述，避免采用文字叙述的方式。

4. 施工总平面布置图的设计依据

施工总平面布置图包括下列设计依据。

(1) 设计资料，包括建筑总平面图、地形地貌图、区域规划图、建设项目范围内有关的一切已有的和拟建的各种地上、地下设施及位置图。

(2) 建设地区资料，包括当地的自然条件和经济技术条件，当地的资源供应状况和运输条件等。

（3）建设项目的建设概况，包括施工方案、施工进度计划，以便了解各施工阶段情况，合理规划施工现场。

（4）物资需求资料，包括建筑材料、构件、加工品、施工机械、运输工具等物资的需要量表，以及规划现场内部的运输线路和材料堆场等位置。

（5）各构件加工厂、仓库、临时性建筑的位置和尺寸。

5. 施工总平面布置图的设计步骤

施工总平面布置图的设计步骤如图 6－5 所示。

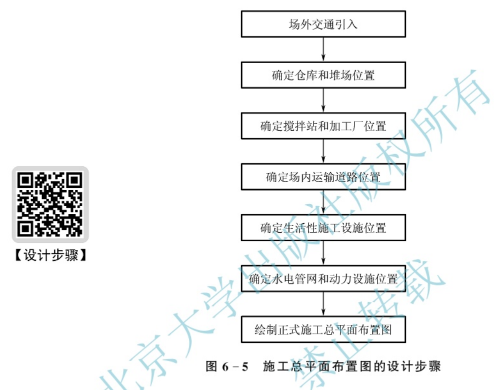


图 6－5　施工总平面布置图的设计步骤

6. 施工总平面布置图的绘制步骤

施工总平面布置图是施工组织总设计的重要内容，是要归入档案的技术文件之一，因此要求精心设计，认真绘制。其绘制步骤如下。

（1）确定图幅大小和绘图比例。图幅大小和绘图比例应根据工地大小及布置内容的多少来确定。图幅一般可选用 A1 或 A2 图纸，比例一般采用 1∶1000 或 1∶2000。

（2）合理规划和设计图面。施工总平面布置图除了要反映现场的布置内容外，还要反映周围的环境和面貌（如已有建筑物、场外道路等），故绘图时应合理规划和设计图面，并留出一定的空余图面绘制指北针、图例及文字说明等。

（3）绘制建筑总平面图的有关内容。将现场测量的方格网，现场内外原有的并将保留的建筑物、构筑物和运输道路等其他设施按比例准确地绘制在图面上。

（4）绘制工地需要的临时设施。根据施工平面布置的要求和面积计算的结果，将所确定的施工道路、仓库堆场、加工厂、施工机械、搅拌站等的位置、尺寸和水电管网的布置按比例准确地绘制在施工总平面布置图上。对复杂的工程，必要时可采用模型布置，布置内容应采用标准图例绘制在施工总平面布置图上。

（5）形成施工总平面布置图。在完成各项布置后，再经分析、比较、优化、调整修

改，形成施工总平面布置图，并做必要的文字说明，标上图例、比例、指北针等。完成的施工总平面布置图要比例正确，图例规范，线条粗细分明，字迹端正，图面整洁美观。

应该指出，上述各设计步骤并不是截然分开、各自孤立进行的，而是互相联系、互相制约的，需要综合考虑、反复修正才能确定下来。当有几种方案时，尚应进行方案比较。

7. 施工总平面布置图的科学管理

施工总平面布置图设计完成之后，就应认真贯彻其设计意图，发挥其应有作用，因此现场对施工总平面布置图的科学管理是非常重要的，否则难以保证施工的顺利进行。施工总平面布置图的科学管理包括以下内容。

（1）建立统一的施工总平面布置图管理制度。划分施工总平面布置图的使用管理范围，做到责任到人，严格控制材料、构件、机具等物资占用的位置、时间和面积，不准乱堆乱放。

（2）对水源、电源、交通等公共项目实行统一管理。不得随意挖路断道，不得擅自拆迁建筑物和水电线路，当工程需要断水、断电、断路时应申请，经批准后方可着手进行。

（3）对施工总平面布置实行动态管理。在布置中，由于特殊情况或事先未预测到的情况需要变更原方案时，应根据现场实际情况统一协调，修正其中不合理的地方。

（4）做好现场的清理和维护工作，经常性检修各种临时性设施，明确负责部门和人员。

6.3 单位工程施工平面布置图

单位工程施工平面布置图是对拟建单位工程施工现场所做的平面规划和空间布置图，是进行施工现场布置的依据和实现施工现场有计划、有组织进行文明施工的先决条件，因此是单位工程施工组织设计的重要组成部分。一般其绘制比例为1∶200～1∶500。

1. 单位工程施工平面布置图概述

单位工程施工平面布置图是施工方案在现场空间上的体现，是单位工程开工前准备工作的重要内容之一，主要包括对施工所需机械、临时加工场地、材料、构件仓库与堆场的布置，以及临时水网和电网、临时道路、临时设施用房的布置。其反映了已建工程和拟建工程之间，以及各种临时建筑、临时设施之间的合理位置关系。现场布置得好，就可以管理得好，为文明施工创造条件；反之，如果现场施工平面布置不佳，施工现场道路不通畅、材料堆放混乱，就会对施工进度、质量、安全、成本等带来不良后果。因此合理、科学地规划单位工程施工平面布置图并严格贯彻执行，加强督促和管理，不仅可以顺利完成施工任务，还能提高施工效率和效益。

建筑工程施工由于工程性质、规模、现场条件和环境的不同，所选的施工方案、施工机械的品种和数量也不同，因此施工现场要规划和布置的内容也有多有少。同时，工程施工又是一个复杂多变的过程，随着工程的展开，需要规划和布置的内容也逐渐增多；而随着工程的逐渐收尾，材料、构件等逐渐消耗，施工机械、施工设施逐渐退场和拆除。因此，在整个工程的不同阶段，施工现场布置的内容也各有侧重，且不断变化。所以，对工

程规模较大、结构复杂、工期较长的单位工程，应当按不同的施工阶段设计施工平面布置图，但要统筹兼顾，如近期的应照顾远期的、土建施工的应照顾设备安装的、局部的应服从整体的。为此在整个工程施工中，各协作单位应以土建施工单位为主，共同协商，合理布置施工平面，做到各得其所。规模不大的砌体结构和框架结构工程，由于工期不长，施工也不复杂，因此这些工程往往只反映其主要施工阶段的现场平面规划布置，重点考虑主体结构施工阶段的施工平面布置，兼顾其他施工阶段的需要。如砌体结构工程的施工，其主体结构施工阶段要反映在施工平面布置图上的内容最多，但随着主体结构施工的结束，现场砌块、构件等的堆场将空出来，某些大型施工机械将拆除退场，施工现场也就变得宽松了，但应注意是否增加砂浆搅拌机的数量和相应堆场的面积。

2. 单位工程施工平面布置图设计原则

施工现场（特别是临街建筑）可供使用的面积受到一定的限制，而需要布置的各种临时建筑和设施又比较多，这必然产生矛盾；同时临时建筑设施要求有足够的面积，且要求使用方便、交通畅通、运距最短，有利于生产、生活，便于管理。这些问题处理不当，就会产生不良的后果。为了正确处理这些矛盾，在设计施工平面布置图时应遵循以下几项原则。

（1）在满足施工条件的前提下，应布置紧凑，尽可能减少施工占地面积，少占或不占农田。

（2）使场内运输距离最短，尽量做到短运距、少搬运，减少材料的二次搬运。各种材料、构件等要根据施工进度并在保证能连续施工的前提下，有计划地组织分期分批进场，充分利用场地；合理安排生产流程，材料、构件尽可能布置在使用地点附近，要垂直运输者尽可能布置在垂直运输机具附近，力求减少运距，达到节约用工和减少材料损耗的目的。

（3）在保证工程施工顺利进行的条件下，尽量减少临时设施的搭设。合理使用场地，一切临时性建筑设施，尽量不占用拟建的永久性建筑物的位置，以免造成不必要的搬迁和浪费；各种临时设施的布置，应便于生产和生活。

（4）各项布置内容，应符合劳动保护、技术安全、防火和防洪的要求。机械设备的钢丝绳、缆风绳，以及电缆、电线与管道等不要妨碍交通，保证道路畅通；各种易燃库、棚（如木工棚、油毡棚、油料棚等）及沥青灶、化灰池应布置在下风向，并远离生活区；炸药、雷管要严格控制并由专人保管；根据工程具体情况，考虑各种劳保、安全、消防设施；在山区雨期施工时，应考虑防洪、排涝等措施，做到有备无患。

3. 单位工程施工平面布置图的设计依据

设计单位工程施工平面布置图的目的是解决为一个单位工程施工服务的各项临时设施和永久建筑相互间的合理布局问题，因此在设计施工平面布置图之前，应先到现场察看，认真进行调查研究，并对设计施工平面布置图的有关资料进行分析，使其与施工现场的实际状况一致。其设计的主要依据如下。

1）设计和施工的原始资料

（1）自然条件调查资料，如气象、地形、水文及工程地质资料等。其主要用于布置地面水和地下水的排水沟，确定易燃、易爆、沥青灶、化灰池等有碍人体健康的设施位置，安排冬雨期施工期间所需设施的地点。

（2）技术经济条件调查资料，如交通运输、水源、电源、物资资源、生产和生活基地

状况等。其主要用于布置水、电、暖、煤、卫等管线的位置及走向，交通道路、施工现场出入口的走向及位置，并确定临时设施的搭设数量。

2）建筑结构设计图样和说明书

(1) 建筑总平面图。建筑总平面图上有拟建和已建的建筑物和构筑物，可根据此图正确决定临时建筑和设施的位置。

(2) 地下和地上管道位置。在施工中，应尽可能考虑利用一切已有或拟建的管道，若对施工有影响，则需采用相应的解决措施，还应避免把临时建筑物布置在拟建的管道上面。

(3) 建筑区域的竖向设计资料和土方调配图。场地竖向设计资料和土方调配图对布置水、电管线，安排土方的挖填及确定取土和弃土地点等具有重要的影响。

3）施工方面资料

(1) 施工方案。施工方案和施工方法的要求应在施工平面图上具体体现，如起重机械和其他施工机具的位置、吊装方案，构件预制及堆场的布置等。

(2) 单位工程进度计划。根据进度计划的安排掌握各个施工阶段的情况，对分阶段布置施工现场、有效利用施工用地起着重要作用。

(3) 各种材料、半成品、构件需要量计划表。根据有关需要量计划表，计算仓库和堆场的面积、尺寸，并合理确定其位置。

(4) 建设单位能提供的已建房屋及其他生活设施的面积等有关情况，以便确定施工现场临时设施的搭设数量。

(5) 现场必须搭建的有关生产作业场所的规模要求，以便确定其面积和位置。

(6) 其他需要掌握的有关资料和特殊要求。

4. 单位工程施工平面布置图的设计步骤

单位工程施工平面布置图的设计步骤如图 6－6 所示。

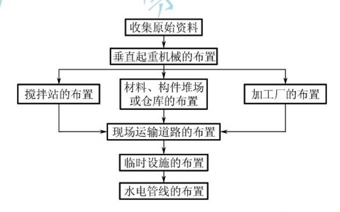


图 6－6 单位工程施工平面布置图的设计步骤

1）垂直起重机械的布置



【机械示意】

垂直起重机械的位置直接影响搅拌站、加工厂及材料、构件的堆场或仓库等的位置，以及现场运输道路、临时设施、水电管线的布置等，因此应予首先考虑。常用的垂直运输机械有塔式起重机（图 6－7）、井架（图 6－8）、龙门架（图 6－9）、施工电梯（图 6－10）等，由于各种起重机械性能不同，其布置位置也有所区别。

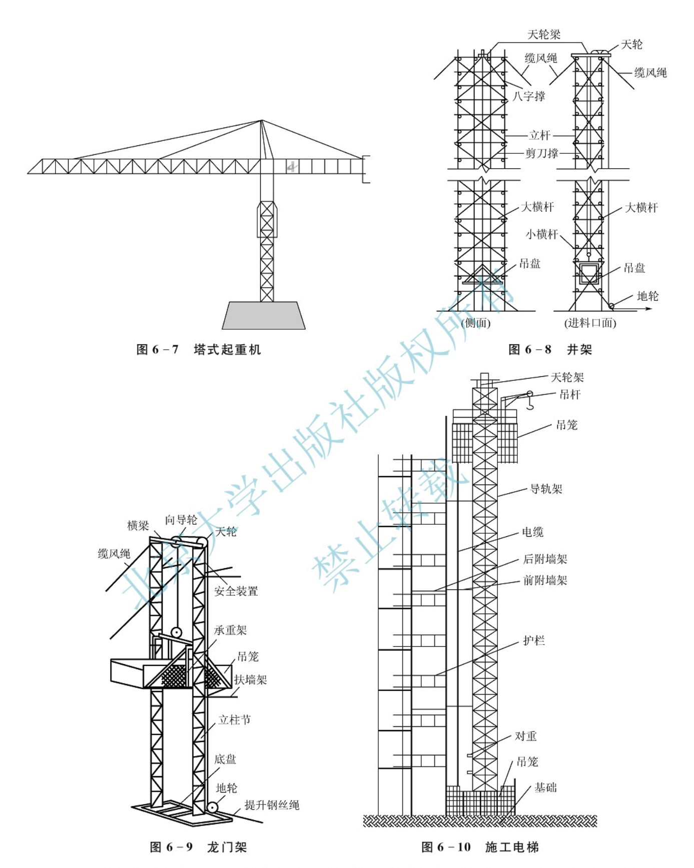


图 6－7　塔式起重机

图 6－8　井架

图 6－9　龙门架

图 6－10　施工电梯

（1）塔式起重机的布置。塔式起重机平面位置的确定主要取决于建筑物的平面形状及周围的场地和吊装工艺。塔式起重机有行走式和固定式两种，行走式起重机由于其稳定性差，已经逐渐被淘汰。塔式起重机的布置除了应注意安全问题以外，还应着重解决布置的位置。建筑物的平面应尽可能处于吊臂回转半径之内，以便直接将材料和构件运至任何施

工地点，尽量避免出现“死角”，如图 6－11(a) 所示。当多台塔式起重机在同一施工现场交叉作业时，应编制专项施工方案，如图 6－11(b) 所示，其中 d_1、d_2 均不得小于 2m。塔式起重机离建筑物的距离 B 应考虑脚手架的宽度、建筑物悬挑部位的宽度、安全距离、回转半径 R 等。

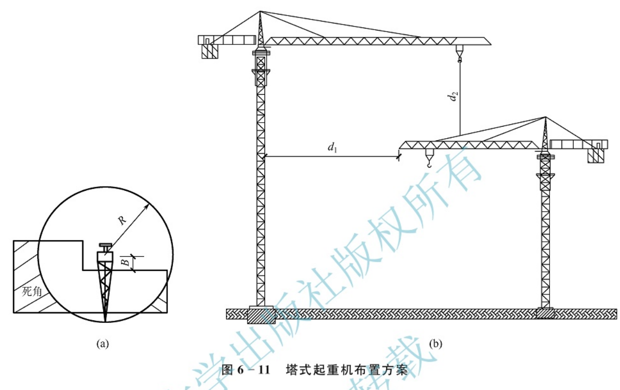


图 6－11 塔式起重机布置方案

(2) 施工电梯、龙门架的布置。施工电梯、龙门架以布置在窗口处为宜，以避免砌墙留槎和减少井架拆除后的修补工作。施工电梯、龙门架的数量要根据施工进度、垂直提升构件和材料的数量、台班工作效率等因素计算确定，其服务范围一般为 50～60m。

2) 搅拌站、加工厂及材料、构件堆场或仓库的布置

搅拌站、加工厂及材料、构件堆场或仓库的位置，应尽量靠近使用地点或在起重机起重能力范围内，并考虑运输和装卸的方便。

如搅拌站应有原材料堆放场地，并开好排水沟渠；防护棚应有一定的高度空间，有良好的通风、采光与照明；搅拌机的操作台应垫上橡胶板或干燥木板；搅拌机应选址合理、固定牢固，轮胎不得支撑在地面或其他物体上，操作手柄应设保险装置，传动部位防护罩应完好无损；宜选用自动计量搅拌站；搅拌站内需悬挂安全操作规程、安全警示牌及配合比标识牌，并组织好排水。

(1) 建筑物基础和第一施工层所用的材料，应布置在建筑物的四周。材料堆放位置应与基槽边缘保持一定的安全距离，以免造成基槽土壁的塌方事故。

(2) 第二施工层以上所用的材料，应布置在起重机附近。

(3) 砂、砾石、水泥等大宗材料应尽量布置在搅拌站附近。水泥宜入库存放，水泥库大小应根据施工现场情况确定，门尺寸不小于 1500mm×2100mm，水泥堆码时应用模板木方垫高 200mm，离墙 300mm 以上，堆放高度不超过 10 包。室外四周应设排水明沟，确保排水畅通。露天临时堆放时应用防雨棚布盖严，底板垫高，采用油纸或油布铺垫。

(4) 当多种材料同时布置时，大宗的、重大的和先期使用的材料应尽量布置在起重机

附近，少量的、轻的和后期使用的材料则可布置得稍远一些。

（5）根据不同的施工阶段使用不同材料的特点，在同一位置上可先后布置不同的材料。

（6）生产设施（如木工棚、钢筋加工棚）宜布置在建筑物四周稍远位置，且应有一定的材料、成品堆放场地。图 6-12 所示为加工棚。

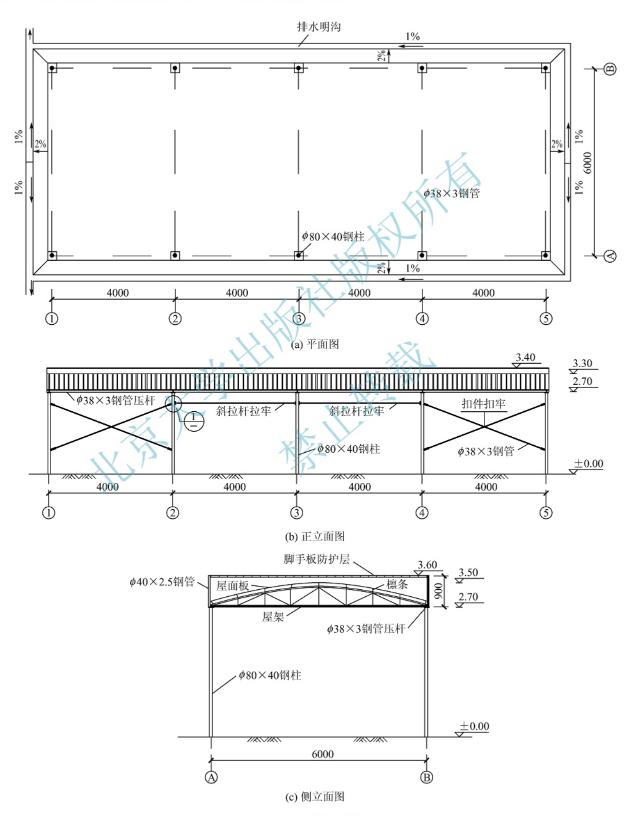


图 6-12　加工棚（单位：mm）

① 加工棚宜采用工具式，可周转利用。加工棚外应设散水明沟，以确保排水畅通。注意防火，加工棚应悬挂防火警示标志。

② 当地基承载力小于 80kN/m² 时，应采用配筋基础。

③ 基础垫层采用 C10 混凝土，基础采用 C20 混凝土。

④ 螺栓采用 M16，孔为 $\phi 17$。

⑤ 未注明的焊接均为满焊。

⑥ 及时处理废渣料，做到工完场清，设置防爆照明灯具。

(7) 石灰仓库和淋灰池的位置应靠近搅拌站并设在下风向；沥青堆场及熬制锅的位置应远离易燃易爆物品，也应设在下风向。预制构件的堆放位置要考虑吊装顺序，先吊的放在上面，后吊的放在下面。各种材料现场堆场数量应根据其使用量的大小、使用时间的长短、供应与运输情况和现场实际条件等综合研究确定，如油库、氧气库等应布置在僻静、安全处，砖、瓦和预制构件等直接使用的材料应布置在施工现场吊车半径范围之内。

根据起重机械的类型，材料和构件堆场、仓库及搅拌站位置又有以下几种布置方式。

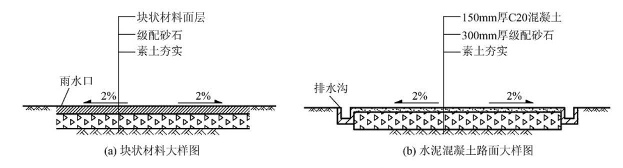
① 当采用固定式垂直运输设备时，须经起重机运送的材料和构件的堆场、仓库及搅拌站的位置应尽量靠近起重机，以缩短运距或减少二次搬运。

② 当采用塔式起重机进行垂直运输时，材料和构件堆场、仓库及搅拌站出料口的位置，应布置在塔式起重机的有效起重半径内。

③ 当用无轨自行式起重机进行水平和垂直运输时，材料和构件堆场、仓库及搅拌站等应沿起重机运行路线布置，且应在起重臂的最大外伸长度范围内。

3) 现场运输道路的布置

现场运输道路的布置主要解决材料构件运输和消防两个问题，首先应按材料和构件运输的需要，沿着仓库或堆场进行布置，并离仓库或堆场越近越好，以便装卸。消防上对道路的要求，除了消防车能直接开到消火栓处之外，还应使道路靠近建筑物、木料场，以便消防车能直接进行灭火抢救。施工现场主干道必须进行硬化，并针对项目的实际情况形成环形道路，道路宽度不小于 3.5m，双车道宽度不小于 6m，对不能形成环形道路的，要求设有不小于 12m×12m 的回车坪，回车坪地面做法同道路，如图 6-13 所示。道路两侧一般应结合地形设置排水沟，沟深不小于 0.4m，底宽不小于 0.3m。



(a) 块状材料大样图　　(b) 水泥混凝土路面大样图

图 6-13　道路硬化做法

4) 临时设施的布置

(1) 临时设施分类及内容。

施工现场的临时设施可分为生产性与非生产性两大类。

生产性临时设施，包括在现场加工制作的作业棚，如木工棚、钢筋加工棚、薄钢板加工棚；各种材料库、棚，如水泥库、油料库、卷材库、沥青棚、石灰棚；各种机械操作棚，如搅拌机棚、卷扬机棚、电焊机棚；各种生产性用房，如锅炉房、烘炉房、机修房、水泵房、空气压缩机房等；其他设施，如变压器等。

非生产性临时设施，包括各种生产管理办公用房、会议室、文娱室、福利性用房、医务室、宿舍、食堂、浴室、开水房、警卫传达室、厕所等。

（2）单位工程临时设施布置。

布置临时设施时，应遵循使用方便、有利施工、尽量合并搭建、符合防火安全的原则，同时结合现场地形和条件、施工道路的规划等因素分析考虑。临时设施采用的材料应达到消防安全要求，层数不超过两层；装配式临建设施宜采用金属面夹芯板作围护结构，夹芯板的芯材应采用自熄式轻质材料，面板厚度不应小于 0.5mm；临建设施应设置室外消防管道和消火栓，每 $100m^2$ 装配式活动板房应配备不少于两具灭火级别不小于 3A 的灭火器；临建设施的连续长度不应超过 30m，开间不宜大于 3.6m，进深不宜大于 6m，不得采用封闭式外走廊；施工现场临建设施内房间建筑面积超过 $60m^2$ 时，至少应设置两个疏散门；两层临建设施的疏散楼梯不应小于两处且应分散布置，两栋临建之间的水平间距必须大于 4m。各种临时设施均不能布置在拟建工程（或后续开工工程）、拟建地下管沟、取土、弃土等地点。通常办公楼可采用活动木板房或砖混结构，办公区的布置应靠近施工现场或设在施工现场出入口处，工人休息室应设在工人作业区，宿舍应布置在安全的上风向，门卫、收发室宜布置在工地出入口处。图 6－14 所示为某项目部办公区布置示意。

① 某项目部办公区无门楼式大门（图 6－15），门柱采用砌体砌筑，表面抹灰后刷涂料；门扇采用 ϕ50 钢管、1.5mm 厚钢板焊接而成，表面刷防锈漆两道，面漆一道。

② 某公司有门楼式大门（图 6－16）横梁采用∟40 角钢及 1mm 厚钢板制作，角钢全部焊接成整体，门楼应具有足够的承载力以抵抗风、雪等荷载。

③ 工地大门处应设门卫室，门卫室可采用砖混结构或活动岗亭，但面积不得小于 $4m^2$。

④ 各种临时设施应尽可能采用活动式、装拆式结构或就地取材。施工现场范围应设置临时围墙、围网或围笆。主要道路两侧的建筑施工现场围挡或围墙高度不低于 2.5m，次道路两侧围挡或围墙高度不低于 2m，市政施工路段临时围挡不低于 1.8m。

⑤ 项目会议室宜设置在办公楼一楼，会议室的大小可根据通常参会人员的多少按每人占用 $2\sim2.5m^2$ 的面积来考虑，高度不得低于 2.5m，有条件的可设置投影设备。

⑥ 施工现场应设置职工文化学习娱乐室，配备电视、报纸、期刊等学习娱乐用品，有条件的可设置篮球场、乒乓球台等，并经常组织篮球比赛、拔河比赛等娱乐活动。

⑦ 有条件的项目可设置停车场，停车场回转半径不小于 6m，地面采用预制砖块铺设或 100mm 厚 C15 素混凝土浇筑。

⑧ 宿舍室内净高不得小于 2400mm，通道宽度不得小于 900mm，每间宿舍居住人员不得超过 16 人。宿舍内的床铺不得超过两层，严禁使用通铺草垫。床铺应高于地面 300mm，人均床铺面积不得少于 1900mm×900mm。

(b) 侧立面图

(a) 正立面图

(c) 平面图

图6-14　某项目部办公区布置示意(单位：mm)

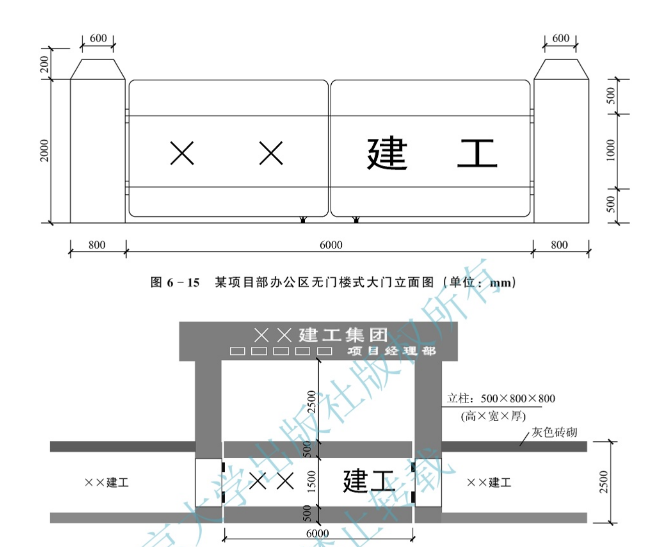


图 6－15　某项目部办公区无门楼式大门立面图（单位：mm）

图 6－16　某公司有门楼式大门立面图（单位：mm）

⑨ 食堂应设置独立的制作间、储藏间，配备必要的排风设施和冷藏设施；门扇下方应设置不低于 200mm 的防鼠挡板，粮食存放台距墙和地面应大于 200mm，制作间灶台及其周边应贴白色瓷砖，高度不宜小于 1800mm，地面应做硬化防滑处理。砖混结构内外墙体必须抹灰，刷白色涂料。

⑩ 卫生间距离食堂在 30m 以上，蹲位数与现场施工人员比例为 1∶25，蹲位之间设置不低于 1200mm 的隔墙。

5）水电管线的布置

(1) 施工用临时给水管，一般由建设单位的干管或施工用干管接到用水地点，有枝状、环状和混合状等布置方式，管网的铺设分明铺和暗铺。管网的布置应从经济和保证供水两个方面去考虑，管径的大小、龙头数目根据工程规模通过计算确定。工地内要设消防栓，消防栓距离建筑物应不小于 5m，也不应大于 25m，距离路边不大于 2m。供水管网的铺设要与土方平整规划协调一致，以防重复开挖。管网的布置要避开拟建工程和室外管沟，以防二次拆迁或改建，条件允许时，可利用城市或建设单位的永久消防设施。有时为防止供水的意外中断，可在建筑物附近设置简易蓄水池，储存一定数量的生产和消防用水，如果水压不足，尚应设置高压水泵。

(2) 为了便于排除地面水和地下水，要及时修通永久性下水道，并结合现场地形，在建筑物四周设置排泄地面水和地下水的沟渠。

(3) 施工中的临时供电，应在全工地性施工总平面图中一并考虑。只有在独立的单位工程施工时，才根据计算出的现场用电量选用变压器或由建设单位原有变压器供电。变压器应布置在现场边缘高压线接入处，但不宜布置在交通要道出入口处。现场导线宜采用绝缘线架空或电缆布置。

建筑施工是一个复杂多变的生产过程，各种施工材料、构件、机械等随着工程的进展而逐渐进场，又随着工程的进展而不断消耗、变动。在整个施工生产过程中，现场的实际布置情况是随时变动的，所以对大型工程、施工期限较长的工程或现场较为狭窄的工程，就需要按不同的施工阶段分别设计几张施工平面图，以便把在不同施工阶段内的现场合理布置情况全面地反映出来。

5. 单位工程施工平面布置图设计内容



【施工布置样板】

(1) 工程施工场地状况。

(2) 单位工程施工区域范围内，已建和拟建的地上、地下的建筑物及构筑物的平面尺寸、位置、层数等，河流、湖泊等的位置和尺寸，以及指北针、风向玫瑰图等。

(3) 施工道路的布置、现场出入口位置等。

(4) 各种预制构件堆放及预制场地的所需面积和位置，大宗材料堆场的面积和位置，仓库的面积和位置，装配式结构构件的就位位置等。

(5) 生产性及非生产性临时设施的名称、面积、位置等。

(6) 拟建工程所需的起重机械、垂直运输设备、搅拌机械及其他机械的布置位置，起重机械开行的线路及方向等。

(7) 临时供电、供水、供热等管线的布置，水源、电源、变压器位置，现场排水沟渠及排水方向的考虑。

(8) 土方工程的弃土及取土地点等有关说明。

(9) 劳动保护、安全、防火及防洪设施布置，以及其他需要布置的内容。

6. 单位工程施工平面布置图案例

1) 工程背景

某工程为某学院教学实验楼修建，位于某市南部。耐火等级为一级，屋面工程防水等级为Ⅱ级，设计使用年限为50年。

该工程设A、B、C三段，A段为教学楼和阶梯教室，B段为教学楼，C段为实验楼和阶梯教室，总建筑面积为25625.34m²，基底面积为6489.22m²，建筑总高度为21.75m，一层层高4.2m，二至五层层高3.9m，楼梯间与水箱间层高3.6m，室内外高差0.45m。

本工程建筑物类别为丙类，结构形式为现浇混凝土框架结构，抗震等级为二级。基础形式为钢筋混凝土柱下独立基础，局部为肋梁式筏片基础或柱下条形基础。建筑物抗震设防烈度为8度。

结构施工现场设3台QTZ6013型塔式起重机，主要负责钢筋、混凝土、模板、三钢工具的垂直运输；设置3座龙门架，主要负责砌砖、装饰工程及零星材料等的垂直运输；



设两座混凝土集中搅拌站搅拌，配备 4 台 JS500 型混凝土搅拌机，2 台自动配料机，2 台混凝土输送泵；钢筋加工机械准备配备钢筋对焊机 1 台，钢筋调直机、切断机、弯曲机各 2 台，电渣压力焊机 6 台。

在装饰施工阶段，将设 3 台砂浆机以满足各种砂浆的搅拌需要。为解决施工现场供水、供电应急需要，现场还准备了 1 台高压水泵及 1 台发电机。

2）施工平面布置图

根据上述工程背景及现场具体条件，按照前述施工平面布置图设计的原则、内容、步骤设计本工程施工平面布置图。按场地内原来的排水坡向，对场地进行平整，修筑 5m 宽现场临时道路，路基铺 100mm 厚砂夹石，压路机压实，路面浇 100mm 厚 C15 混凝土，纵向坡度 2%。施工现场道路循环，以满足材料运输、消防等要求。为了保证现场材料堆放有序，堆放场地将进行硬化处理。材料尽可能按计划分期、分批、分层供应，以减少二次搬运。

本工程施工平面布置图的最终设计结果如图 6－17 所示。



图 6－17　某学院教学实验楼工程施工平面布置图

【例 6－1】 试绘制本单元典型工作任务的施工平面布置图。

【解】 考虑各种要求后，该任务的施工平面布置图如图 6－18 所示。

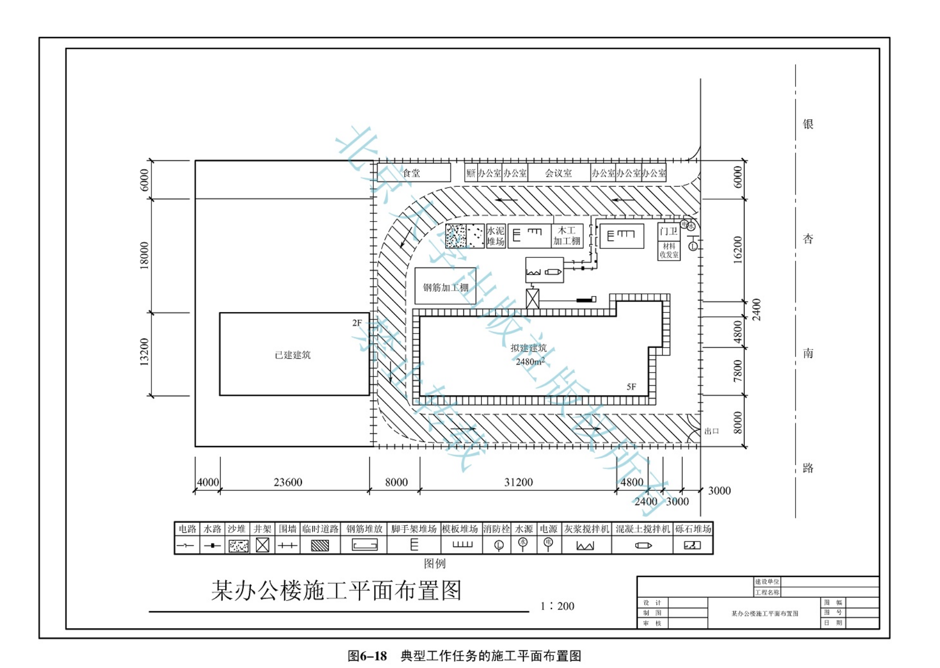


图6-18 典型工作任务的施工平面布置图

【案例】×××项目施工平面布置

1. 项目概况

×××项目位于长沙市开福区福元中路与万家丽北路交叉口以西地块。二期工程总建筑面积约380000m²，包括1栋4层办公用房、4栋18层住宅、4栋25层住宅、1栋22层住宅、6栋34层住宅、1栋2～3层幼儿园及1个学校。项目设计效果图如图6-19所示。



图6-19　项目设计效果图

2. 图纸复核

本工程为设计施工总承包项目，建设方要求二期工程杜绝设计变更。项目部及时引进BIM技术，在建模过程中发现设计图纸问题150余处，生成图纸问题报告，并与技术部进行对接，及时反馈到设计院进行解决，避免了设计变更。设计院回复后，对模型进行了修改完善。最后的土建整合模型如图6-20所示。

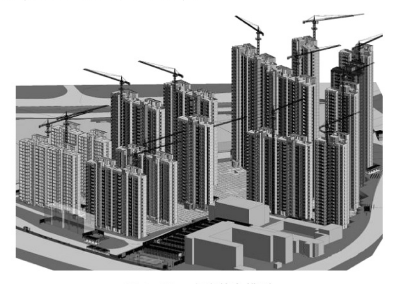


图6-20　土建整合模型

3. 施工平面布置

施工方建立了 Revit 三维场地布置模型，如图 6－21 所示。重点对塔式起重机布置进行了准确定位、优化、复核，绘制出塔式起重机定位图以指导施工。利用 BIM 技术建立三维模型，优化塔式起重机等机具布置，准确定位，出图指导施工，能直观反映其与建筑物之间的空间关系，避免碰撞，如图 6－22 所示。分施工阶段动态调整场地布置，规划好施工道路，使场地布置科学、合理，可有效减少材料转运，提高工作效率。

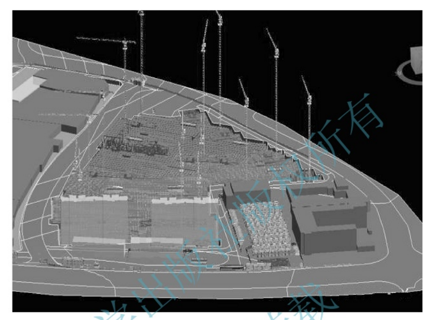


图 6－21　Revit 三维场地布置模型

图 6－22　塔式起重机平面布置图

小　结

施工平面图是对拟建工程的施工现场所做的平面规划和布置，是施工组织设计的主要内容，是现场文明施工的基本保证和布置施工现场的依据，也是施工准备工作的一项重要依据。

单位工程施工平面图的一般设计步骤是：确定垂直起重运输机械的位置→布置材料和构件堆场、仓库及搅拌站的位置→布置运输道路→布置行政管理、文化、生活、福利用房等临时设施→布置临时供水管网、临时供电管网。

供水管网布置形式，分为环形管网、枝形管网、混合式管网等。

习　题

一、思考题

1. 试述施工总进度计划的作用和编制步骤。
2. 什么是施工总平面图？施工总平面图设计的内容有哪些？
3. 施工总平面图设计的原则和依据是什么？
4. 施工总平面图的设计步骤有哪些？
5. 单位工程施工平面图的内容有哪些？试述单位工程施工平面图的一般设计步骤。
6. 什么叫作塔式起重机的服务范围？什么叫作“死角”？试述塔式起重机的布置要求。
7. 固定式垂直运输机械布置时应考虑哪些因素？
8. 搅拌站的布置有哪些要求？加工厂、材料和构件堆场的布置应注意哪些问题？
9. 试述施工道路的布置要求。
10. 现场临时设施有哪些内容？临时供水、供电有哪些布置要求？
11. 试述单位工程施工平面图的绘制步骤和要求。

二、岗位（执业）资格考试真题

单项选择题

1. 根据文明工地标准，施工现场必须设置“五牌一图”，其中的“一图”是（　　）。

A. 施工进度网络图　　B. 安全管理流程图

C. 大型施工机械布置图　　D. 施工现场平面布置图

2. 施工总平面图的设计步骤是（　　）。

A. 设置项目人员办公室，设置食堂　　B. 设置工程占地围墙，设置钢筋棚

C. 设置工程质量检测室，设置搅拌站　　D. 设置大门，引入场外道路

3. 施工总平面图内容包括（　　）。

A. 总体布局规划、形状和位置、地形和地貌、朝向和风速、其他

B. 总体布局规划、形状和位置、地形和地貌

C. 总体布局规划、形状和位置

D. 形状和位置、地形和地貌、朝向和风速

4. 下列叙述中正确的是（　　）。

A. 3%表示长度为100，高度为3的坡度倾斜度

B. 指北针一般画在总平面图和底层平面图上

C. 总平面图中的尺寸单位为毫米，标高尺寸单位为米

D. 总平面图的所有尺寸单位均为米，标注至小数点后两位

5. 单位工程施工平面图的设计原则是（　　）。

A. 尽量不利用永久工程设施　　B. 利用已有的临时工程

C. 短运输，少搬运　　D. 不占或少占农田

6. 单位工程施工组织设计中，平面布置图表达的内容不包括（　　）。

A. 临时设施　　B. 施工方案　　C. 搅拌站　　D. 施工道路

7. 房屋建筑工程中，单位工程施工平面布置图设计的第一步是（　　）。

A. 确定搅拌站的位置　　B. 确定垂直运输机械的位置

C. 布置主要材料堆场的位置　　D. 布置临时设施

8. 把施工所需的各种资源、生产、生活场地及各种临时设施合理地布置在施工现场，使整个现场能有组织地进行文明施工，属于施工组织设计中（　　）的内容。

A. 施工部署　　B. 施工方案

C. 安全施工专项方案　　D. 施工平面图



【单元6参考答案】



施工组织设计实施

施工员岗位工作标准

1. 能参与施工组织管理策划、参与制定管理制度。

2. 能编制施工组织设计及专项施工方案。

3. 能做好施工现场组织协调工作，合理调配生产资源，落实施工作业计划，负责施工平面布置的动态管理。

造价员岗位工作标准

具备从事和参与工程招标、投标文件编制的能力。

知识目标

1. 掌握施工组织设计文件的编制方法和步骤。

2. 掌握专项施工方案的编制方法和步骤。



【单元7任务答案】

典型工作任务

任务描述	专项施工方案的审批
考核时量	15 分钟
背景资料	某现浇钢筋混凝土框架-剪力墙结构办公楼工程，地下一层，地上十六层，建筑面积 18600m²，基坑开挖深度 5.5m。该工程由某施工单位总承包，其中基坑支护工程施工由专业分包单位承担。 在基坑支护工程施工前，分包单位编制了基坑支护安全专项施工方案，经分包单位技术负责人审批后组织专家论证，监理机构认为专项施工方案及专家论证均不符合规定，不同意进行论证。
问题描述	按照《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》（住建部令〔2018〕37 号）的规定，指出本工程的基坑支护安全专项施工方案审批及专家组织中的错误之处，并分别写出正确做法。

施工组织设计是以施工项目为对象编制的用以指导施工的技术、经济和管理的综合性文件。它为建设项目的施工做出全局性的战略部署，为组织整个施工活动提供科学方案和实施步骤，是施工单位做好施工准备工作、保证资源供应、编制施工作业计划的依据，是建筑施工企业加强生产管理的一项重要工作，也是建设单位编制工程建设计划、监理单位监督施工实施情况的重要依据。

本单元主要学习施工组织设计的基本概念、编制依据与原则、编制程序与内容，掌握工程项目施工部署及施工顺序，掌握施工方法及施工机械选择，熟悉工程概况、各项技术组织措施及技术经济分析方法，掌握专项施工方案、单位工程施工组织设计和施工组织总设计的编制方法。

7.1 工程概况

工程概况是对整个建设项目的总说明，即对整个建设项目或建筑群所做的一个简单扼要、突出重点的文字介绍，有时为了补充文字介绍的不足，还可以附上建设项目总平面图，主要建筑的平面、立面、剖面示意图及辅助表格。其一般应包括以下内容。

（1）建设项目特点：包括拟建工程的建设单位、工程名称、性质、用途和建设目的，资金来源及工程造价，开工、竣工日期，设计单位、施工单位、监理单位，施工图纸情况，施工合同签订情况，上级的有关文件或要求及组织施工的指导思想等；建设地点、建设总规模、总工期、总占地面积、总建筑面积，分期分批投入使用的项目和工期、总投资，主要工种工程量、设备安装及其吨数、建筑安装工程量，生产流程和工艺特点，建筑结构类型，新技术、新材料、新工艺的复杂程度和应用情况，建筑、结构设计概况等。

（2）建设地区特征：包括地形、地貌、水文、地质、气温、冬雨期时间、主导风向、风力和抗震设防烈度等情况，建设地区资源、交通、运输、水、电、劳动力、生活设施等情况。

（3）施工条件及其他内容：包括施工企业的生产能力，技术装备，管理水平，主要设备、材料和特殊物资的供应情况；有关建设项目的决议、合同、协议，土地征用范围、数量和居民搬迁时间等情况。

7.2 施工部署


【案例——平安金融中心总承包项目】

施工部署是在对拟建工程的工程情况、建设要求、施工条件等进行充分了解的基础上，对项目实施过程涉及的任务、资源、时间、空间等做出的统筹规划和全面安排。

施工部署是施工组织设计的纲领性内容，施工进度计划、施工准备、资源配置计划、施工方法、施工现场平面布置和主要施工管理计划等施工组织设计的组成内容，都应该围绕施工部署的原则编制。

1. 工程目标

工程目标包括工程的质量、进度、成本、安全、环保及节能、绿色施工等管理目标。

2. 重点和难点分析

对工程施工各阶段的重点和难点应逐一分析并提出解决方案或对策，包括工程施工的组织管理和施工技术两个方面。

3. 工程管理组织

工程管理组织包括管理的组织机构，项目经理部的工作岗位设置及职责划分。岗位设置应与项目规模相匹配，且相应人员应具备相应的上岗资格。

项目管理组织机构形式，应根据施工项目的规模、复杂程度、专业特点、人员素质和地域范围确定。大中型项目宜设置矩阵式项目管理组织结构，小型项目宜设置线性职能式项目管理组织结构，远离企业管理层的大中型项目宜设置事业部式项目管理组织结构。

4. 进度安排和空间组织

（1）工程主要施工内容及其进度安排应明确说明，施工顺序应符合工序逻辑关系。

（2）施工流水段应根据工程特点及工程量分阶段合理划分，并应说明划分依据及流水方向，确保均衡流水施工。单位工程施工阶段，一般包括地基基础、主体结构、装饰装修和机电设备安装工程。

5. “四新”

“四新”是指新技术、新工艺、新材料、新设备。根据现有的施工技术水平和管理水平，对项目施工中开发和使用的“四新”成果应做出规划，并采取可行的技术、管理措施来满足工期和质量等要求。

6. 资源配置计划

（1）根据施工进度计划各阶段的工程量来确定劳动力的配置，画出劳动力阶段需求图或曲线图。

（2）根据施工总体部署和施工进度计划要求，做出分包计划、劳动力使用计划、材料供应计划和机械设备供应计划。

7. 项目管理总体安排

（1）对主要分包工程施工单位的选择要求及管理方式应进行简要说明。

（2）对主要分包项目施工单位的资质和能力应提出明确要求。

施工部署的各项内容，应能综合反映施工阶段的划分与衔接、施工任务的划分与协调、施工进度的安排与资源供应、组织指挥系统与调控机制。

7.3 施工方案



【深圳平安金融中心施工组织设计】

施工方案是以分部（分项）工程或专项工程为主要对象编制的施工技术与组织方案，用以具体指导其施工过程。

施工方案的选择是决定整个工程全局的关键，选择得恰当与否，将直接影响施工的效率、进度安排、施工质量、施工安全、工期长短

等。因此，必须在若干个初步方案的基础上认真分析比较，力求选出一个最经济、合理的施工方案。

在选择施工方案时，应着重研究以下四个方面的内容：确定施工顺序；确定施工方法和施工机械；制定专项施工方案；组织流水施工。下面主要介绍前三个方面，最后一个方面“组织流水施工”在单元3已有介绍，此处不再赘述。

7.3.1 确定施工顺序

1. 确定施工顺序应遵循的基本原则和要求

确定合理的施工顺序，是选择施工方案首先应考虑的问题。施工顺序是指工程开工后各分部分项工程施工的先后次序。确定施工顺序既是为了按照客观规律组织施工，也是为了解决各工种之间的合理搭接，在保证工程质量和施工安全的前提下充分利用空间，以达到缩短工期的目的。

在实际工程中，施工顺序可以有多种，不仅不同类型建筑物的建造过程有不同的施工顺序，而且在同一类型的建筑工程甚至同一幢房屋的施工中，也会有不同的施工顺序。因此需要在众多的方案中，选择出既符合客观规律又经济合理的施工顺序。

1）确定施工顺序应遵循的基本原则

施工顺序的确定原则：工艺合理、保证质量、安全施工、充分利用工作面及缩短工期。

（1）先地下后地上：指的是在地上工程开始之前，把管道、线路等地下设施、土方工程和基础工程全部完成或基本完成。坚固耐用的建筑需要有一个坚实的基础，从工艺的角度考虑，也必须先地下后地上，地下工程施工时应做到先深后浅，这样可以避免：对地上部分施工产生干扰；带来施工不便；造成浪费；影响工程质量。

（2）先主体后围护：指的是在框架结构建筑和装配式单层工业厂房施工中，先进行主体结构施工，后完成围护工程。框架主体结构与围护工程在总的施工顺序上要合理搭接，一般来说，多层建筑以少搭接为宜，高层建筑则应尽量搭接施工，以缩短工期，而装配式单层工业厂房主体结构与围护工程一般不搭接。

（3）先结构后装修：是对一般情况而言的，有时为了缩短工期，也可以有部分合理的搭接。

（4）先土建后设备：指的是不论民用建筑还是工业建筑，一般来说，土建施工应先于水、暖、煤、卫、电等建筑设备的施工。但它们之间更多的是穿插配合关系，尤其在装修阶段，要从保证施工质量、降低成本的角度处理好相互之间的关系。

以上原则并不是一成不变的，在特殊情况下，如在冬期施工之前，应尽可能完成土建和围护工程，以利于施工中的防寒和室内作业的开展，从而达到改善工人的劳动环境、缩短工期的目的；又如大板建筑施工，大板承重结构部分和某些装饰部分宜在加工厂同时完成。随着我国施工技术的发展、企业经营管理水平的提高，以上原则也在进一步完善之中。

2）确定施工顺序的基本要求

（1）必须符合施工工艺的要求。建筑物在建造过程中，各分部分项工程之间存在着一

定的工艺顺序关系，并随着建筑物结构和构造的不同而变化，应在分析建筑物各分部分项工程之间的工艺关系的基础上确定施工顺序。如基础工程未做完，其上部结构就不能进行作业，垫层需在土方开挖后才能施工；采用砌体结构时，下层的墙体砌筑完成后方能施工上层楼面。但在框架结构工程中，墙体作为围护或隔断，可安排在框架施工全部或部分完成后进行。

（2）必须与施工方法协调一致。如在装配式单层工业厂房施工中，如采用分件吊装法，施工顺序是先吊装柱，再吊装梁，最后吊装各个节间的屋架及屋面板等；如采用综合吊装法，则施工顺序为一个节间全部构件吊装完成后，再依次吊装下一个节间，直至构件全部吊装完。

（3）必须考虑施工组织的要求。如有地下室的高层建筑，其地下室地面工程可以安排在地下室顶板施工前进行，也可以安排在地下室顶板施工后进行。从施工组织方面考虑，前者施工较方便，上部空间宽敞，可以利用吊装机械直接将地面施工用的材料运送到地下室；而选择后者，地面材料运输和施工就比较困难，但可以加快主体施工的进度。

（4）必须考虑施工质量的要求。在安排施工顺序时，要以保证和提高工程质量为前提，当影响工程质量时，则要重新安排施工顺序或采取必要的技术措施。如屋面防水层施工，必须等找平层干燥后才能进行，否则将影响防水工程的质量，特别是柔性防水层的施工。

（5）必须考虑当地的气候条件。如在冬期和雨期施工到来之前，应尽量先做基础工程、室外工程、门窗玻璃工程，为地上和室内工程施工创造条件。这样有利于改善工人的劳动环境，有利于保证工程质量和加快施工进度。

（6）必须考虑安全施工的要求。在进行立体交叉、平行搭接施工时，一定要注意安全问题。如在主体结构施工时，水、电、暖、卫的安装与构件、模板、钢筋等的吊装和安装不能在同一个工作面上，必要时应采取一定的安全保护措施。

2. 多层砌体结构民用房屋的施工顺序

多层砌体结构民用房屋按照结构各部位不同的施工特点，可分为基础工程、主体工程、屋面及装修工程三个施工阶段，如图 7 - 1 所示。

1）基础工程阶段施工顺序

基础工程是指室内地面以下的工程，其施工顺序一般为挖土方→垫层→基础→回填土，具体内容视工程设计而定。如有桩基础工程，应另列桩基础工程。如有地下室，则施工过程和施工顺序一般为挖土方→垫层→地下室底板→地下室墙、柱结构→地下室顶板→防水层及保护层→回填土。但由于地下室结构、构造不同，有些施工内容应有一定的配合和交叉。

在基础工程施工阶段，挖土方与垫层这两道工序在施工安排上要紧凑，时间间隔不宜太长，必要时可将挖土方与垫层合并为一个施工过程。在施工中，可以采取集中兵力、分段流水进行施工，以避免基槽（坑）土方开挖后，因垫层施工未能及时进行而使基槽（坑）浸水或受冻害，从而使地基承载力下降，造成工程质量事故，或引起工程量、劳动力、机械等资源的增加。同时还应注意混凝土垫层施工后必须有一定的技术间歇时间，使之具有一定的强度后再进行下道工序的施工。各种管沟的挖土、铺设等施工过程，应尽可能与基础工程施工配合，采取平行搭接施工。回填土一般在基础工程完工后一次性分层、

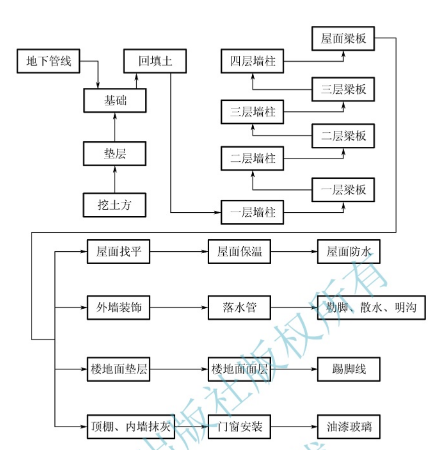


图7-1 多层砌体结构民用房屋的施工顺序

对称夯填，以避免基础受到浸泡，并为后一道工序创造条件。当回填土工程量较大且工期较紧时，也可将回填土分段施工并与主体结构搭接进行，室内回填土可安排在室内装修施工前进行。

2）主体工程阶段施工顺序

主体工程是指基础工程以上、屋面板以下的所有工程。这一阶段的施工过程主要包括安装垂直运输机械，搭设脚手架，砌筑墙体，现浇柱、梁、楼板、雨篷、阳台、楼梯等。其中砌筑墙体和现浇楼板是主体工程阶段的主导施工过程，两者在各楼层中交替进行，应注意使它们在施工中保持均衡、连续、有节奏地进行作业，并以它们为主组织流水施工，根据每个施工段的砌筑墙体和现浇楼板工程量、工人人数、吊装机械的效率、施工组织的安排等计算确定流水节拍大小，而其他施工过程则应配合砌筑墙体和现浇楼板组织流水作业，搭接进行。如搭设脚手架应配合砌筑墙体和现浇楼板逐段逐层进行，现浇钢筋混凝土构件的支模、绑扎钢筋可安排在现浇楼板的同时或砌筑墙体的最后一步插入。要及时做好模板、钢筋的加工制作，以免影响后续工程的按期投入。

3）屋面及装修工程阶段施工顺序

屋面及装修工程是指屋面板完成以后的所有工作。这一阶段的施工特点是：施工内容多、繁、杂；有的工程量大而集中，有的工程量小而分散；劳动消耗大，手工作业多，工期较长。因此妥善安排屋面及装修工程的施工顺序，组织立体交叉流水作业，对加快工程进度有着特别重要的意义。

屋面工程的施工应根据屋面的设计要求逐层进行。如柔性屋面的施工按照隔汽层→保温

层→找平层→柔性防水层→隔热层的顺序依次进行，刚性屋面按照找平层→保温层→找平层→刚性防水层→隔热层的施工顺序依次进行，其中细石混凝土防水层、分仓缝施工应在主体结构完成后尽快完成，为顺利进行室内装修创造条件。为了保证屋面工程质量、防止屋面渗漏，屋面防水在南方做成“双保险”，即既做刚性防水层，又做柔性防水层，但也应精心施工、精心管理。屋面工程施工在一般情况下不划分流水段，可以和装修工程搭接施工。

装修工程的施工可分为室外装修（檐沟、女儿墙、外墙、勒脚、散水、台阶、明沟、雨水管等）和室内装修（顶棚、墙面、楼面、地面、踢脚线、楼梯、门窗、五金、油漆及玻璃等）两方面的内容，其中内外墙及楼地面的饰面是整个装修工程施工的主导过程，要着重解决饰面工作的空间顺序。

根据装修工程的质量、工期、施工安全及施工条件，其施工顺序有以下几种。

(1) 室外装修工程。

一般采用自上而下的施工顺序，在屋面工程全部完工后，室外抹灰从顶层至底层依次逐层向下进行。其施工流向通常为水平向下，如图 7-2(a) 所示，采用这种顺序的优点是有利于室外装修的成品保护，同时便于脚手架及时拆除。

(2) 室内装修工程。

① 室内装修自上而下的施工顺序，是指主体工程及屋面防水层完工后，室内抹灰从顶层往底层依次逐层向下进行。其施工流向又可分为水平向下 [图 7-2(a)] 和垂直向下 [图 7-2(b)] 两种，通常采用水平向下的施工流向。采用自上而下施工顺序的优点是：可以使房屋主体结构完成后有足够的沉降和收缩期，沉降变化趋于稳定，能避免产生沉降裂缝，保证室内装修质量，同时还可减少或避免各工种操作互相交叉，便于组织施工，有利于施工安全，也很方便楼层清理。其缺点是：不能与主体工程及屋面工程搭接施工，故总工期相应较长。

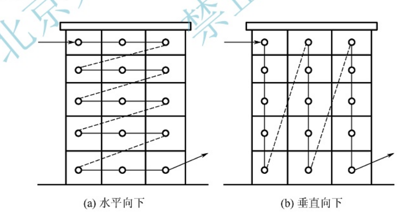


图 7-2 自上而下的施工流向

② 室内装修自下而上的施工顺序，是指主体结构施工到三层及三层以上时（有两层楼板，以确保底层施工安全），室内抹灰从底层开始逐层向上进行，一般与主体结构平行搭接施工。其施工流向又可分为水平向上 [图 7-3(a)] 和垂直向上 [图 7-3(b)] 两种，通常采用水平向上的施工流向。为了防止雨水或施工用水从上层楼板渗漏而影响装修质量，应先做好上层楼板的面层，再进行本层顶棚、墙面、楼地面的饰面。采用自下而上的施工顺序的优点是：可以与主体结构平行搭接施工，从而缩短工期。其缺点是：同时施工的工序多、人员多、工序间交叉作业多，要采取必要的安全措施；材料供应集中，施工机

具负担重，现场施工组织和管理比较复杂。因此只有当工期紧迫时，室内装修才考虑采取自下而上的施工顺序。

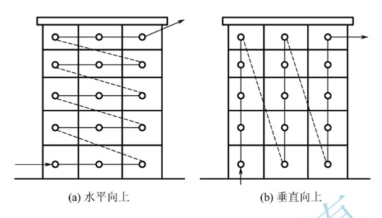


图 7-3　自下而上的施工流向

③ 室内装修的单元顺序，即在同一楼层内顶棚、墙面、楼地面之间的施工顺序，一般有两种选择：楼地面→顶棚→墙面，顶棚→墙面→楼地面。这两种施工顺序各有利弊，前者便于清理地面基层，楼地面质量易保证，而且便于收集墙面和顶棚的落地灰，从而节约材料，但要注意楼地面的成品保护，否则后一道工序不能及时进行；后者则在楼地面施工之前必须将落地灰清扫干净，否则会影响面层与结构层间的黏结，造成楼地面起壳，而且楼地面施工用水的渗漏可能影响下层墙面、顶棚的施工质量。底层地面施工通常在最后进行。

④ 楼梯间和楼梯踏步由于在施工期间易受损坏，为了保证装修工程质量，楼梯间和踏步装修往往安排在其他室内装修完工之后，自上而下统一进行。门窗的安装可在抹灰之前或之后进行，主要视气候和施工条件而定，但通常是安排在抹灰之后。而油漆和安装玻璃的次序是应先油漆门窗扇，后安装玻璃，以免油漆时弄脏玻璃。塑钢及铝合金门窗不受此限制。

在装修工程施工阶段，还需考虑室内装修与室外装修的先后顺序，这与施工条件和天气变化有关。通常有先内后外、先外后内、内外同时进行这三种施工顺序。当室内有水磨石楼面时，应先做水磨石楼面，再做室外装修，以免施工时渗漏水影响室外装修质量；当采用单排脚手架砌墙时，由于留有脚手眼需要填补，应先做室外装修，在拆除脚手架后同时填补脚手眼，再做室内装修；当装饰工人较少时，则不宜采用内外同时进行的施工顺序。一般来说，采用先外后内的施工顺序较为有利。

3. 钢筋混凝土框架结构房屋的施工顺序

钢筋混凝土框架结构房屋的施工顺序也可分为基础、主体、屋面及装修工程三个阶段。但它在主体工程施工时与多层砌体结构民用房屋有所区别，即框架柱、框架梁、板可交替进行，也可采用框架柱、框架梁、板同时进行，墙体工程则与框架柱、框架梁、板搭接施工，其他工程的施工顺序与多层砌体结构民用房屋相同。

4. 装配式单层工业厂房的施工顺序

装配式单层工业厂房按照结构各部位不同的施工特点，一般分为基础工程、预制工程、吊装工程、其他工程四个施工阶段，如图 7-4 所示。

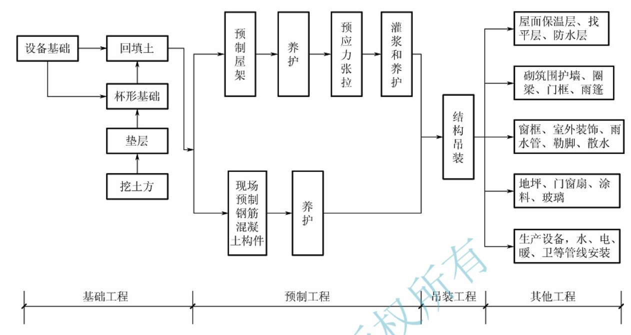


图 7－4　装配式单层工业厂房施工顺序

在施工中，有的装配式单层工业厂房由于工程规模较大、生产工艺复杂，需要按生产工艺要求来分区、分段。因此在确定装配式单层工业厂房的施工顺序时，不仅要考虑土建施工及施工组织的要求，而且要研究生产工艺流程，即先生产的区段先施工，以尽早交付使用，尽快发挥基本建设投资的效益。所以工程规模较大、生产工艺要求较复杂的装配式单层工业厂房施工时，要分期分批进行，分期分批交付试生产，这是确定其施工顺序的总要求。下面根据中小型装配式单层工业厂房各施工阶段来叙述其施工顺序。

1）基础工程阶段施工顺序

装配式单层工业厂房的柱基础大多采用钢筋混凝土杯形基础，基础工程施工阶段的施工顺序一般是：挖土方→垫层→杯形基础（也可分为绑扎钢筋、支模、浇筑混凝土、养护、拆模）→回填土。如有桩基础工程，则应另列桩基础工程。

在基础工程施工阶段，挖土方与垫层这两道工序在施工安排上要紧凑，时间间隔不宜太长。在施工中，挖土方、垫层及杯形基础，可集中力量分区、分段进行流水施工，但应注意混凝土垫层和钢筋混凝土杯形基础施工后必须有一定的技术间歇时间，须待其达到一定的强度后，再开展下一道工序。回填土必须在基础工程完工后及时一次性分层对称夯实，以保证基础工程质量，并及时提供现场预制构件制作场地。

装配式单层工业厂房往往都有设备基础，特别是重型工业厂房，其设备基础埋置深、体积大、所需工期长、施工条件差，比一般的柱基工程施工困难和复杂得多，有时还会因为设备基础施工顺序不同，影响到构件的吊装方法、设备安装及投入生产使用时间，因此对设备基础的施工必须引起足够的重视。

设备基础视其埋置深浅、体积大小、位置关系和施工条件，有两种施工顺序方案，即封闭式施工和敞开式施工。

（1）封闭式施工，是指厂房柱基础先施工，设备基础在结构吊装后施工。它适用于设

备基础埋置浅（不超过厂房柱基础埋置深度）、体积小、土质较好、距柱基础较远和在厂房结构吊装后对厂房结构稳定性并无影响的情况。采用封闭式施工的优点是：土建施工工作面大，有利于构件现场预制、吊装和就位，便于选择合适的起重机械和开行路线；围护工程能及早完工，设备基础能在室内施工，不受气候影响，可以减少设备基础施工时的防雨、防寒及防暑费用；有时还可以利用厂房内的桥式吊车为设备基础施工服务。其缺点是：出现某些重复性工作，如部分柱基回填土的重复挖填；设备基础施工条件差，场地拥挤，其基坑不宜采用机械开挖；当厂房所在地点土质不佳时，设备基础基坑开挖过程中容易造成土体不稳定，需增加加固措施费用。

（2）敞开式施工，是指厂房柱基础与设备基础同时施工或设备基础先施工，它的适用范围和优缺点与封闭式施工正好相反。

这两种施工顺序方案各有优缺点，究竟采用哪一种方案，应根据工程的具体情况仔细分析、对比后加以确定。

2）预制工程阶段施工顺序

装配式单层工业厂房的钢筋混凝土结构构件较多，一般包括柱子、基础梁、连系梁、吊车梁、支撑、屋架、天窗架、屋面板、天沟板等。目前装配式单层工业厂房的构件，一般采用加工厂预制和现场预制（在拟建车间内部、外部）相结合的方式，这里着重介绍现场预制的施工顺序。对于质量大、批量小或运输不便的构件，一般采用现场预制的方式，如柱子、吊车梁、屋架等；对于中小型构件，一般采用加工厂预制的方式。但在具体确定构件预制方式时，应结合构件的技术特征、当地加工厂的生产能力、工期要求、现场施工条件、运输条件等因素进行技术经济分析后确定。

非预应力预制构件制作的施工顺序是：支模→绑扎钢筋→预埋铁件→浇筑混凝土→养护→拆模。

后张法预应力预制构件制作的施工顺序是：支模→绑扎钢筋→预埋铁件→孔道留设→浇筑混凝土→养护→拆模→预应力钢筋的张拉、锚固→孔道灌浆→养护。

预制构件开始制作的日期、位置、流向和顺序，在很大程度上取决于工作面和后续工程的要求。一般来说，只要基础回填土、场地平整完成一部分之后，结构吊装方案一经确定，构件制作即可开始。制作流向应与基础工程的施工流向一致，这样既能使构件制作早日开始，又能及早交出工作面，为结构吊装尽早进行创造条件。

当采用分件吊装法时，预制构件的制作有两种方案：当场地狭窄而工期允许时，构件制作可分批进行，首先制作柱子和吊车梁，待柱子和吊车梁吊装完后再进行屋架制作；当场地宽敞时，可考虑构件同时制作以缩短工期，柱子和吊车梁等构件在拟建车间内部预制，屋架在拟建车间外部制作。构件尤其是大型构件的制作位置需考虑方便以后吊装。

当采用综合吊装法时，预制构件需一次制作，视场地的具体情况确定构件是全部在拟建车间内制作，还是一部分在拟建车间内制作一部分在拟建车间外制作。

3）吊装工程阶段施工顺序

结构吊装工程是装配式单层工业厂房施工中的主导施工过程，其内容依次为柱子、基础梁、吊车梁、连系梁、屋架、天窗架、屋面板等构件的吊装、校正和固定。

构件吊装开始日期取决于吊装前准备工作完成的情况，吊装流向和顺序主要由后续工程对它的要求来确定。当柱基杯口弹线和杯底标高抄平、构件的弹线、吊装强度验算、加固设施、吊装机械进场等准备工作完成之后，就可以开始吊装。吊装流向通常应与构件制作的流向一致。但如果车间为多跨且有高低跨时，吊装流向应从高低跨柱列开始，以适应吊装工艺的要求。

吊装的顺序取决于吊装方法。当采用分件吊装法时，其吊装顺序是：第一次开行吊装柱子，随后校正与固定；第二次开行吊装基础梁、吊车梁、连系梁；第三次开行吊装屋盖构件。有时也可将第二次开行、第三次开行合并为一次开行。当采用综合吊装法时，其吊装顺序是：先吊装四根或六根柱子，迅速校正固定，再吊装基础梁、吊车梁、连系梁及屋盖构件等，如此逐个节间吊装，直至整个厂房吊装完毕。

装配式单层工业厂房两端山墙往往设有抗风柱，抗风柱有两种吊装顺序：一种是在吊装柱子的同时先吊装该跨一端的抗风柱，另一端抗风柱吊装则待屋盖吊装完之后进行；另一种是全部抗风柱均待屋盖吊装完之后进行吊装。

4）其他工程阶段施工顺序

其他工程阶段主要包括围护工程、屋面工程、装修工程、设备安装工程等内容，这一阶段总的施工顺序是围护工程→屋面工程→装修工程→设备安装工程，但有时也可互相交叉、平行搭接施工。

围护工程的施工顺序是：搭设垂直运输设备（一般选用井架）→砌墙（脚手架搭设与之配合进行）→现浇门框、雨篷等。

屋面工程在屋盖构件吊装完毕、垂直运输设备搭设好后，就可安排施工，其施工过程和顺序与前述多层砌体结构民用房屋基本相同。

装修工程包括室外装修和室内装修，两者可平行进行，并可与其他施工过程交叉进行。室外装修一般采用自上而下的施工顺序；室内装修按屋面板底→内墙→地面的顺序进行施工；门窗安装在粉刷过程中穿插进行。

设备安装包括水、电、暖、卫和生产设备安装。水、电、暖、卫安装与前述多层砌体结构民用房屋基本相同，而生产设备的安装由于专业性强、技术要求高等，一般由专业公司分包。

上述多层砌体结构民用房屋、钢筋混凝土框架结构房屋和装配式单层工业厂房的施工顺序，仅适用于一般情况。建筑施工顺序的确定是一个复杂的过程，也是一个发展的过程，随着科学技术的发展、人们观念的更新而在不断变化，因此针对每个建设项目，必须根据其施工特点和具体情况，合理确定其施工顺序。

7.3.2 确定施工方法和施工机械

正确选择施工方法和施工机械，是制订施工方案的关键。单位工程各个分部分项工程均可采用各种不同的施工方法和施工机械，而每一种施工方法和施工机械又都有其优缺点，因此必须从先进、经济、合理的角度出发进行选择，以达到提高工程质量、降低成本、提高劳动生产率和加快进度的预期效果。

1. 选择施工方法和施工机械的主要依据

施工方法和施工机械的选择，主要应根据工程建筑结构特点、质量要求、工期长短、资源供应条件、现场施工条件、施工单位的技术装备水平和管理水平等因素综合考虑。

2. 选择施工方法和施工机械的基本要求

(1) 应考虑主要分部分项工程的要求。应从工程施工全局出发，着重考虑影响整个工程施工的主要分部分项工程的施工方法和施工机械选择。而对于一般的、常见的、工人熟悉的、工程量小的、对施工全局和工期无多大影响的分部分项工程，只要提出若干注意事项和要求就可以了。

主要分部分项工程是指工程量大、所需时间长、占工期比例大的工程，施工技术复杂或采用新技术、新工艺、新材料、新设备的分部分项工程，以及对工程质量起关键作用的分部分项工程。对施工单位来说，某些结构特殊或缺乏施工经验的工程也属于主要分部分项工程。

(2) 应符合施工组织总设计的要求。如本工程是整个建设项目中的一个项目，则其施工方法和施工机械的选择应符合施工组织总设计中的有关要求。

(3) 应满足施工技术的要求。施工方法和施工机械的选择，必须满足施工技术的要求。如预应力张拉方法和机械的选择应满足设计、质量、施工技术的要求，又如吊装机械的类型、型号、数量的选择应满足构件吊装技术和工程进度的要求。

(4) 应符合工厂化、机械化施工的要求。单位工程施工，原则上应尽可能实现和提高工厂化和机械化程度，这是建筑施工发展的需要，也是提高工程质量、降低工程成本、提高劳动生产率、加快工程进度和实现文明施工的有效措施。这里所说的工厂化，是指建筑物的各种钢筋混凝土构件、钢结构构件、木构件、钢筋加工等应最大限度地实现工厂化制作，最大限度地减少现场作业。而机械化程度不仅是指单位工程施工要提高机械化程度，还要充分发挥机械设备的效率，减轻繁重的体力劳动。

(5) 应符合先进、合理、可行、经济的要求。选择施工方法和施工机械时，除要求先进、合理之外，还要考虑对施工单位来说是可行的、经济的。必要时要进行分析比较，从施工技术水平和实际情况出发，选择先进、合理、可行、经济的施工方法和施工机械。

(6) 应满足工期、质量、成本和安全的要求。所选择的施工方法和施工机械应尽量满足缩短工期、提高工程质量、降低工程成本、确保施工安全的要求。

3. 主要分部分项工程的施工方法和施工机械选择

主要分部分项工程的施工方法和施工机械在建筑施工技术中已有详细叙述，这里仅将需重点拟定的内容和要求归纳如下。

(1) 土石方与地基处理工程。

① 挖土方法。根据土方量大小，确定采用人工挖土还是机械挖土。当采用人工挖土时，应按进度要求确定劳动力人数，分区分段施工；当采用机械挖土时，应选择机械挖土的方式，再确定挖土机的型号和数量，机械开挖的方向与路线，人工如何配合修整基底、边坡。

② 地面水、地下水的排除方法。确定排水沟渠、集水井、井点的布置及所需设备的型号和数量。

③ 挖深基坑方法。应根据土质类别及场地周围情况确定边坡的放坡坡度或土壁的支撑形式和打设方法，确保安全。

④ 石方施工。确定石方的爆破方法，所需机具材料。

⑤ 在地形较复杂的地区进行场地平整时，应进行土方平衡计算，绘制平衡调配表。

⑥ 确定运输方式、运输机械型号和数量。

⑦ 确定土方回填的方法、填土压实的要求及机具选择。

⑧ 确定地基处理的方法（换填地基、夯实地基、挤密桩地基、注浆地基等）及相应的材料机具设备。

（2）基础工程。

① 浅基础。确定垫层、钢筋混凝土基础施工的技术要求。

② 地下防水工程。应根据其防水方法（混凝土结构自防水、水泥砂浆抹面防水、卷材防水、涂料防水），确定用料要求和相关技术措施等。

③ 桩基。明确施工机械型号，入土方法，入土深度控制、检测、质量要求等。

④ 基础的深浅不同时，应确定基础施工的先后顺序、标高控制、质量安全措施等。

⑤ 各种变形缝。确定留设方法及注意事项。

⑥ 混凝土基础施工缝。确定留置位置、技术要求。

（3）混凝土和钢筋混凝土工程。

① 模板的类型和支模方法的确定。根据不同的结构类型、现场施工条件和企业实际施工装备，确定模板种类、支承方法和施工方法，并分别列出采用的项目、部位、数量，明确加工制作的分工及选用的隔离剂，对于复杂的结构还需进行模板设计及模板放样图绘制。模板工程应向工具化方向努力，推广“快速脱模”装置，提高模板的周转利用率。采取分段流水工艺，减少模板的一次投入量，同时确定模板供应渠道（租用或内部调拨）。

② 钢筋的加工、运输和安装方法的确定。明确构件厂或现场加工的范围（如成型程度是加工成单根、网片或骨架），明确除锈、调直、切断、弯曲成型方法，明确钢筋冷拉、施加预应力方法，明确焊接方法（如电弧焊、对焊、点焊、气压焊等）或机械连接方法（如锥螺纹、直螺纹等），明确钢筋运输和安装方法，明确相应机具设备的型号和数量。

③ 混凝土搅拌和运输方法的确定。若当地有预拌混凝土供应，则首先应采用预拌混凝土，否则应根据混凝土工程量大小，合理选用搅拌方式，明确是集中搅拌还是分散搅拌；选用搅拌机型号和数量；进行配合比设计，确定掺合料、外加剂的品种和数量，确定砂石筛选、计量和后台上料方法；确定混凝土运输方法。

④ 混凝土的浇筑。确定浇筑顺序、施工缝位置、分层高度、工作班制、浇捣方法、养护制度及相应机械工具的型号和数量。

⑤ 冬期或高温条件下混凝土的浇筑。应制定相应的防冻或降温措施，落实测温工作，明确外加剂品种、数量和控制方法。

⑥ 大体积混凝土的浇筑。应制定防止温度裂缝的措施，落实测量孔的设置和测温记录等工作。

⑦ 有防水要求的特殊混凝土工程。应事先做好防渗等试验工作，明确用料和施工操

作等要求，加强检测控制措施，保证质量。

⑧ 装配式单层工业厂房的牛腿柱和屋架等大型的在现场预制的钢筋混凝土构件，应事先确定柱与屋架现场预制平面布置图。

（4）砌体工程。

① 明确砌体的组砌方法和质量要求，皮数杆的控制要求，施工段和劳动力的组合形式等。

② 明确砌体与钢筋混凝土构造柱、梁、圈梁、楼板、阳台、楼梯等构件的连接要求。

③ 明确配筋砌体工程的施工要求。

④ 明确砌筑砂浆的配合比计算及原材料要求，拌制和使用时的要求。

（5）结构安装工程。

① 选择吊装机械的类型和数量。需根据建筑物的外形尺寸，所吊装构件的外形尺寸、位置、质量、起重高度，工程量、工期，现场条件，吊装工地的拥挤程度，吊装机械通向建筑工地的可能性及工地上可能获得吊装机械的类型等条件来确定。

② 确定吊装方法，安排吊装顺序、机械位置、行驶路线、构件拼装方法及场地。

③ 有些跨度较大的建筑物的构件吊装，应认真制定吊装工艺，设定构件吊点位置，确定吊索的长短及夹角大小、起吊和扶正时的临时稳固措施、垂直度测量方法等。

④ 构件运输、装卸、堆放方法，以及所需机具设备（如平板拖车、载重汽车、卷扬机及手推车等）的型号、数量和对运输道路的要求。

⑤ 确定吊装工程准备工作内容，主要包括：起重机行走路线的压实加固；各种索具、吊具和辅助机械的准备；临时加固、校正和临时固定的工具、设备的准备；吊装质量要求和安全施工等相关技术措施。

（6）屋面工程。

① 屋面各个分项工程（如卷材防水屋面一般有找坡找平层、隔汽层、保温层、防水层、保护层等分项工程，刚性防水屋面一般有隔离层、刚性防水层等分项工程）的各层材料特别是防水材料的质量要求和施工操作要求。

② 屋盖系统的各种节点部位及各种接缝的密封防水施工。

③ 屋面材料的运输方式。

（7）装饰装修工程。

① 明确装修工程进入现场施工的时间、顺序和成品保护等具体要求，结构、装修、安装宜穿插施工，以缩短工期。

② 较高级的室内装修应先做样板间，通过设计、业主、监理等单位联合认定后，再全面开展工作。

③ 对于民用建筑，需提出室内装饰环境污染控制办法。

④ 室外装修工程应明确脚手架设置，饰面材料应有防止渗水、防止坠落及防止金属材料锈蚀的措施。

⑤ 确定分项工程的施工方法和要求，提出所需的机具设备的型号和数量。

⑥ 确定各种装饰装修材料的品种、规格、外观、尺寸、质量等要求。

⑦ 确定装修材料逐层堆放的数量和平面位置，提出材料储存要求。

⑧ 保证装饰工程施工防火安全的方法。如材料的防火处理、施工现场防火、电气防火、消防设施的保护等。

（8）脚手架工程。

① 明确内外脚手架的用料、搭设、使用、拆除方法及安全措施，外墙脚手架大多从地面开始搭设，根据土质情况，应有防止脚手架不均匀下沉的措施。

高层建筑的外脚手架，应每隔几层与主体结构做固定拉结，以保证脚手架整体稳固；且一般不从地面开始一直向上，而应分段搭设，一般每段 5～8 层，大多采用工字钢或槽钢做外挑或组成钢三角架外挑的做法。

② 应明确特殊部位脚手架的搭设方案。如施工现场的主要出入口处，脚手架应留有较大的空间，便于行人或车辆进出，空间两边和上边均应用双杆处理，并局部设置剪刀撑，加强与主体结构的拉结固定。

③ 室内施工脚手架宜采用轻型的工具式脚手架，以便于装拆，且成本低。高度较大、跨度较大的厂房屋顶的顶棚喷刷工程宜采用移动式脚手架，既省工又不影响其他工程。

④ 脚手架工程还需确定安全网挂设方法及“四口”“五临边”防护方案。

（9）现场水平、垂直运输设施。

① 确定垂直运输量，有标准层的需确定标准层运输量。

② 选择垂直运输方式及其机械型号、数量、布置、安全装置、服务范围、穿插班次，明确垂直运输设施使用中的注意事项。

③ 选择水平运输方式及其设备型号、数量。

④ 确定地面和楼面上水平运输的行驶路线。

【装配式施工全记录】

（10）特殊项目。

① 采用“四新”（新技术、新工艺、新材料、新设备）的项目及高耸、大跨、重型构件，水下、深基、软弱地基、冬期施工等项目，均应单独编制施工方案，内容应包括施工方法、工艺流程、平立剖示意图、技术要求、质量安全注意事项、施工进度、劳动组织、材料构件及机械设备需用量。

② 对于大型土石方、打桩、构件吊装等项目，一般均需单独提出施工方法和技术组织措施。

7.3.3 制订专项施工方案



【专项施工方案要点】

施工单位应当在危险性较大的分部分项工程施工前编制专项方案。对于超过一定规模的危险性较大的分部分项工程，施工单位应当组织专家对专项方案进行论证。

危险性较大的分部分项工程，是指建筑工程在施工过程中存在的、可能导致作业人员群死群伤或造成重大不良社会影响的分部分项工程。施工单位应当在危险性较大的分部分项工程施工前编制专项方案；对于超过一定规模的危险性较大的分部分项工程，施工单位应当组织专家对专项方案进行论证。

危险性较大的分部分项工程安全专项施工方案，是指施工单位在编制施工组织（总）

设计的基础上，针对危险性较大的分部分项工程单独编制的安全技术措施文件。

《建设工程安全生产管理条例》规定：对达到一定规模的危险性较大的分部分项工程应当编制安全专项施工方案，并附具安全验算结果，经施工单位技术负责人、总监理工程师签字后实施，由专职安全生产管理人员进行现场监督。其中特别重要的专项施工方案还必须组织专家进行论证、审查，住建部发布的《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》（住建部令〔2018〕37号）对此做了明确规定。

1. 专项施工方案编制范围

1）危险性较大的分部分项工程

（1）基坑工程。

① 开挖深度超过3m（含3m）的基坑（槽）的土方开挖、支护、降水工程。

② 开挖深度虽未超过3m，但地质条件、周围环境和地下管线复杂，或影响毗邻建（构）筑物安全的基坑（槽）的土方开挖、支护、降水工程。

（2）模板工程及支撑体系。

① 各类工具式模板工程：包括滑模、爬模、飞模、隧道模等工程。

② 混凝土模板支撑工程：搭设高度在5m及以上，或搭设跨度在10m及以上，或施工总荷载（荷载效应基本组合的设计值，以下简称设计值）在$10kN/m^2$及以上，或集中线荷载（设计值）在15kN/m及以上，或高度大于支撑水平投影宽度且相对独立无联系构件的混凝土模板支撑工程。

③ 承重支撑体系：用于钢结构安装等满堂支撑体系。

（3）起重吊装及起重机械安装拆卸工程。

① 采用非常规起重设备、方法，且单件起吊重量在10kN及以上的起重吊装工程。

② 采用起重机械进行安装的工程。

③ 起重机械安装和拆卸工程。

（4）脚手架工程。

① 搭设高度在24m及以上的落地式钢管脚手架工程（包括采光井、电梯井脚手架）。

② 附着式升降脚手架工程。

③ 悬挑式脚手架工程。

④ 高处作业吊篮。

⑤ 卸料平台、操作平台工程。

⑥ 异型脚手架工程。

（5）拆除工程。

可能影响行人、交通、电力设施、通信设施或其他建（构）筑物安全的拆除工程。

（6）暗挖工程。

采用矿山法、盾构法、顶管法施工的隧道、洞室工程。

（7）其他。

① 建筑幕墙安装工程。

② 钢结构、网架和索膜结构安装工程。

③ 人工挖孔桩工程。

④ 水下作业工程。

⑤ 装配式建筑混凝土预制构件安装工程。

⑥ 采用新技术、新工艺、新材料、新设备可能影响工程施工安全，尚无国家、行业及地方技术标准的分部分项工程。

2）超过一定规模的危险性较大的分部分项工程范围

（1）深基坑工程。

开挖深度超过 5m（含 5m）的基坑（槽）的土方开挖、支护、降水工程。



【高支模如何施工才能保证安全】

（2）模板工程及支撑体系。

① 各类工具式模板工程：包括滑模、爬模、飞模、隧道模等工程。

② 混凝土模板支撑工程：搭设高度在 8m 及以上，或搭设跨度在 18m 及以上，或施工总荷载（设计值）在 $15kN/m^2$ 及以上，或集中线荷载（设计值）在 20kN/m 及以上。

③ 承重支撑体系：用于钢结构安装等满堂支撑体系，承受单点集中荷载 7kN 及以上。

（3）起重吊装及起重机械安装拆卸工程。

① 采用非常规起重设备、方法，且单件起吊重量在 100kN 及以上的起重吊装工程。

② 起重量在 300kN 及以上，或搭设总高度在 200m 及以上，或搭设基础标高在 200m 及以上的起重机械安装和拆卸工程。

（4）脚手架工程。

① 搭设高度在 50m 及以上的落地式钢管脚手架工程。

② 提升高度在 150m 及以上的附着式升降脚手架工程或附着式升降操作平台工程。

③ 分段架体搭设高度在 20m 及以上的悬挑式脚手架工程。

（5）拆除工程。

① 码头、桥梁、高架、烟囱、水塔或拆除中容易引起有毒有害气（液）体或粉尘扩散、易燃易爆事故发生的特殊建（构）筑物的拆除工程。

② 文物保护建筑、优秀历史建筑或历史文化风貌区影响范围内的拆除工程。

（6）暗挖工程。

采用矿山法、盾构法、顶管法施工的隧道、洞室工程。

（7）其他。

① 施工高度在 50m 及以上的建筑幕墙安装工程。

② 跨度在 36m 及以上的钢结构安装工程，或跨度在 60m 及以上的网架和索膜结构安装工程。

③ 开挖深度在 16m 及以上的人工挖孔桩工程。

④ 水下作业工程。

⑤ 重力在 1000kN 及以上的大型结构整体顶升、平移、转体等施工工艺。

⑥ 采用新技术、新工艺、新材料、新设备可能影响工程施工安全，尚无国家、行业及地方技术标准的分部分项工程。

2. 专项施工方案内容

(1) 工程概况：包括危险性较大的分部分项工程概况、施工平面布置、施工要求和技术保证条件。

(2) 编制依据：包括相关法律、法规、规范性文件、标准、规范及图纸（国标图集）、施工组织设计等。

(3) 施工计划：包括施工进度计划、材料与设备计划。

(4) 施工工艺技术：包括技术参数、工艺流程、施工方法、检查验收等。

(5) 施工安全保证措施：包括组织保障、技术措施、应急预案、监测监控等。

(6) 劳动力计划：包括专职安全生产管理人员、特种作业人员等。

(7) 计算书及相关图纸。

3. 专家论证

超过一定规模的危险性较大的分部分项工程专项方案，应当由施工单位组织召开专家论证会，实行施工总承包的，由施工总承包单位组织召开专家论证会。专家组成员应当由5名及以上符合相关专业要求的专家组成，本项目参建各方的人员不得以专家身份参加专家论证会。

专家论证的主要内容：专项方案内容是否完整、可行，专项方案计算书和验算依据是否符合有关标准规范，安全施工的基本条件是否满足现场实际情况。



【某工程深基坑专项施工方案】

7.4 施工技术组织措施

施工技术组织措施是指降低工程施工成本、保证工程质量、加快工程施工进度、保证工程施工文明和安全等方面的措施，它包括技术方面和组织管理方面的措施，能比较全面地反映施工单位对工程施工的筹划水平和承诺，促使业主对施工单位有比较全面的了解，增加信任感，同时对施工企业和工程项目也是一种约束，减少或杜绝施工过程的随意性。

施工技术组织措施是施工组织设计的重要内容，它的主要作用如下。

(1) 从施工组织管理角度看，它可体现出科学的组织与资源的合理运用，提高效率，降低施工成本。

(2) 从施工技术角度看，它可使各项技术措施更深化、更具体、更有保障和有可实施性、可监督性。

(3) 明确项目各个层次人员的岗位责任，使全体项目施工人员的施工行为标准化、程序化、规范化。

1. 确保工程质量的技术组织措施

保证工程质量的关键是明确质量目标，建立质量保证体系，对工程对象经常发生的质量通病制定防治措施。

1）技术措施

（1）确保工程定位放线、标高测量等准确无误的措施。

（2）确保地基承载力及各种基础、地下结构、地下防水、土方回填施工质量的措施。

（3）确保主体承重结构各主要施工过程质量的措施。

（4）确保屋面、装修工程施工质量的措施。

（5）依据《建筑工程冬期施工规程》（JGJ/T 104—2011）、《冬期施工手册》等制定季节性施工的质量保证措施。

（6）解决质量通病的措施。

2）组织措施

（1）建立各级技术责任制，完善内部质保体系，明确质量目标及各级技术人员的职责范围，做到职责明确、各负其责。

（2）推行全面质量管理活动，开展 QC（质量管理）小组竞赛，制定奖优罚劣措施。

（3）定期进行质量检查活动，召开质量分析会议。

（4）加强人员培训工作，贯彻《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB 50300—2013）及相关专业工程施工质量验收系列规范。对使用“四新”或有质量通病的分部分项工程，应进行分析讲解，以提高操作人员的质量意识和水平，从而确保工程质量。

（5）对影响质量的风险因素有识别管理办法和防范对策。

2. 确保安全生产的技术组织措施

1）技术措施

（1）施工准备阶段的安全技术措施。

① 技术准备中要了解工程设计对安全施工的要求，调查工程的自然环境对施工安全及施工对周围环境安全的影响等。

② 物资准备时要及时供应质量合格的安全防护用品，以满足施工需要等。

③ 施工现场准备中，各种临时设施、库房、易燃易爆品存放都必须符合安全规定。

④ 施工队伍准备中，总包、分包单位都应持有《安全生产许可证》。

（2）施工阶段的安全技术措施。

① 针对拟建工程地形、地貌、环境、自然气候、气象等情况，提出突然发生自然灾害时有关施工安全方面的措施，以减少损失，避免伤亡。

② 易燃、易爆品严格管理和安全使用的措施。

③ 防火、消防措施，高温、有毒、有尘、有害气体环境下的安全措施。

④ 土方、深基施工，高空作业，结构吊装、上下垂直平行施工时的安全措施。

⑤ 各种机械、机具的安全操作要求，外用电梯、井架及塔式起重机等垂直运输机具的安拆要求、安全装置和防倒塌措施，交通、车辆的安全管理。

⑥ 各种电气设备防短路、防触电的安全措施。

⑦ 狂风、暴雨、雷电等各种特殊天气发生前后的安全检查措施及安全维护制度。

⑧ 季节性施工的安全措施，如夏季作业有防暑降温措施，雨季作业有防雷电、防触电、防沉陷坍塌、防台风、防洪排水措施，冬季作业有防风、防火、防冻、防滑、防煤气中毒措施。

⑨ 脚手架、吊篮、安全网的设置，各类洞口、临边作业人员防止坠落的措施，现场周围通行道路及居民保护隔离措施。

⑩ 各施工部位要有明显的安全警示牌。

⑪ 操作者严格遵照安全操作规程，实行标准化作业。

⑫ 基坑支护、临时用电、模板搭拆、脚手架搭拆要编写专项施工方案。

⑬ 针对新技术、新工艺、新材料、新结构，应制定专门的施工安全技术措施。

2）组织措施

（1）明确安全目标，建立安全保证体系。

（2）执行国家、行业、地区安全法规、标准或规范，如《职业健康安全管理体系要求》（GB/T 28001—2011）、《建筑施工安全检查标准》（JGJ 59—2011）等，并以此制定本工程安全管理制度及各专业工作安全技术操作规程。

（3）建立各级安全生产责任制，明确各级施工人员的安全职责。

（4）提出安全施工宣传、教育的具体措施，进行安全思想、纪律、知识、技能、法制的教育，加强安全交底工作；施工班组要坚持每天开好班前会，针对施工操作中的安全问题及时提示；在工人进场上岗前，必须进行安全教育和安全操作培训。

（5）定期进行安全检查活动和召开安全生产分析会议，对不安全因素及时进行整改。

（6）需要持证上岗的工种必须持证上岗。

（7）对影响安全的风险因素制定识别管理办法和防范对策。

3. 确保工期的技术组织措施

1）技术措施

（1）采取加快施工进度的施工技术方法。

（2）规范操作程序，使施工操作能紧张而有序地进行，避免返工和浪费，以加快施工进度。

（3）采取网络计划技术及其他科学适用的计划方法，并结合电子计算机的应用，对进度实施动态控制。在发生进度延误时，能适时调整工作间的逻辑关系，保证进度目标的实现。

2）组织措施

（1）建立进度控制目标体系和进度控制组织系统，落实各层次进度控制人员及其工作职责。

（2）建立进度控制工作制度，如检查时间、方法、协调会议时间、参加人员等。定期召开工程例会，分析研究解决各种问题。

（3）建立图纸审查、工程变更与设计变更管理制度。

（4）建立对影响进度的因素进行分析和预测的管理制度，对影响工期的风险因素有识别管理手法和防范对策。

（5）组织劳动竞赛，有节奏地掀起几次生产高潮，调动职工积极性，保证进度目标的实现。

（6）组织流水作业。

（7）对季节性施工项目进行合理排序。

4. 确保文明施工、环境保护的技术组织措施

1）文明施工措施

（1）建立现场文明施工责任制等管理制度。

（2）定期进行检查活动，针对薄弱环节不断总结提高。

（3）施工现场围栏与标牌设置规范，出入口交通安全，道路畅通，场地平整，安全与消防设施齐全。

（4）临时设施规划整洁，办公室、宿舍、更衣室、食堂、厕所清洁卫生。

（5）各种材料、半成品、构件进场有序，避免盲目进场或后用先进等情况，现场材料应堆放整齐、分类管理。

（6）做好成品保护及施工机械的修养工作。

2）环境保护措施

（1）项目经理部应根据《环境管理体系 要求及使用指南》（GB/T 24001—2016）建立项目环境监控体系，不断反馈监控信息，采取整改措施。

（2）施工现场泥浆和污水未经处理，不得直接排入城市排水设施和河流、湖泊、池塘。

（3）除有符合规定的装置外，不得在施工现场熔化沥青和焚烧油毡、油漆，亦不得焚烧其他可产生有毒、有害、烟尘和恶臭气味的废弃物，禁止将有毒、有害废弃物做土方回填。

（4）施工现场每日进行清理，做到随做随清、谁做谁清。建筑垃圾、渣土应在指定地点堆放，高空施工的垃圾及废弃物应采用密闭式串筒或其他措施清理搬运。装载建筑材料、垃圾或渣土的车辆，应采取防止尘土飞扬、洒落或流溢的有效措施。施工现场应根据需要设置机动车辆冲洗设施。

（5）在居民和单位密集区域进行爆破、打桩等施工作业前，项目经理部应按规定申请批准，还应将作业计划、影响范围、程度及有关措施等情况向受影响范围的居民和单位通报说明，以取得协作和配合；对施工机械的噪声与振动扰民，应采取相应措施予以控制。

（6）经过施工现场的地下管线，应由发包人在施工前通知承包人，标出位置，加以保护。施工时发现文物、古迹、爆炸物、电缆等，应当停止施工保护好现场，及时向有关部门报告，按照有关规定处理后方可继续施工。

（7）施工中需要停水、停电、封路而影响到施工现场周围地区的单位和居民时，必须经有关部门批准，事先告知。在行人、车辆通行的地方施工，沟、井、坎、穴应设置覆盖物和标志。

（8）施工现场在温暖季节应绿化。

5. 降低施工成本的技术组织措施

制定降低成本的措施要依据三个原则，即全面控制原则、动态控制原则、创收与节约相结合的原则。具体可采用如下措施。

（1）建立成本控制体系及成本目标责任制，实行全员全过程控制，做好变更、索赔工作，加快工程款回收。

（2）临时设施尽量利用已有的各项设施或利用已建工程，或采用工具式活动工棚等，以减少临时设施费用。

（3）劳动组织合理，提高劳动效率，减少总用工数。

（4）增强物资管理的计划性，从采购、运输、现场管理、材料回收等方面最大限度地降低材料成本。

（5）综合利用吊装机械，提高机械利用率，减少吊次，以节约台班费。缩短大型机械进出场时间，避免多次重复进场使用。

（6）增收节支，减少施工管理费的支出。

（7）保证工程质量，减少返工损失。

（8）保证安全生产，减少事故频率，避免意外工伤事故带来的损失。

（9）合理进行土石方平衡，以节约土方运输及人工费用。

（10）提高模板精度，采用工具式模板、工具式脚手架，加速模板等材料的周转，以节约模板和脚手架费用。

（11）采用先进的钢筋连接技术，以节约钢筋。

（12）砂浆、混凝土中掺外加剂或掺合料（粉煤灰等），以节约水泥用量。

（13）编制工程预算时，应“以支定收”，保证预算收入；在施工过程中，要“以收定支”，控制资源消耗和费用支出。

（14）加强经常性的分部分项工程成本核算分析及月度成本核算分析，及时反馈，以纠正成本的不利偏差。

（15）对费用超支风险因素有识别管理办法和防范对策。



【某工程技术组织措施案例】

7.5 技术经济分析

技术经济分析是指对各种技术方案基于效益原则进行的计算、比较与论证，是优选各种技术方案的重要手段与科学方法。

施工组织设计技术经济分析是施工组织设计的重要内容，是论证施工组织设计在技术上是否可行、在经济上是否合算，通过科学的计算和分析比较，选择技术经济最佳的方案，为寻求增产节约的途径和提高经济效益提供信息，为不断改进与提高施工组织设计水平提供依据。

1. 技术经济分析的基本要求

（1）全面分析。要对施工技术方法、组织方法及经济效果进行分析，对施工的具体环节及全过程进行分析。

（2）做技术经济分析时，应抓住施工方案、施工进度计划和施工平面图三大重点，并据此建立技术经济分析指标体系。

（3）做技术经济分析时，要灵活运用定性方法与定量方法。在做定量分析时，应对主要指标、辅助指标和综合指标区别对待。

（4）技术经济分析应以设计方案的要求、有关的国家规定及工程的实际需要为依据。

2. 技术经济分析指标

在施工组织设计中，技术经济分析指标包括工期指标、劳动生产率指标、工程质量指

标、降低成本指标、安全指标、机械指标、主要材料（钢筋、木材、水泥）节约指标、施工现场场地综合利用指标、预制化施工程度指标、临时工程投资比例指标等。以施工方案为例，其技术经济评价指标体系如图7－5所示。

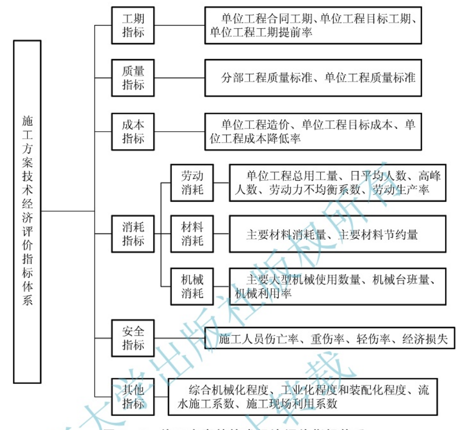


图7－5　施工方案的技术经济评价指标体系

1）工期指标

（1）总工期：建设项目从工程正式开工到全部投产使用为止的全部日历天数。

（2）施工准备期：从施工准备开始到主要项目开工的全部时间。

（3）部分投产期：从主要项目开工到第一批项目投产使用的全部时间。

（4）单位工程工期：建筑群中各单位工程从开工到竣工的全部时间。

2）劳动生产率指标

（1）全员劳动生产率［元/(人·年)］。

全员劳动生产率＝报告期年度完成工作量/报告期年度全体职工平均人数

（2）单方用工（工日/m^2）。

单位用工＝完成该工程消耗的全部劳动工日数/竣工面积

（3）节约用工。

节约用工＝预算用工量－(施工组织设计)计划用工量

（4）劳动力不均衡系数。

劳动力不均衡系数＝施工期高峰人数/施工期平均人数

3）工程质量指标

工程质量指标主要用以说明工程质量达到的等级，如合格、优良、省优、鲁班奖等。

其中工程质量优良品率计算公式为

工程质量优良品率＝验收鉴定被评为优良品的单位工程个数/全部验收鉴定的单位工程个数×100％

（＝验收鉴定被评为优良品的房屋建筑竣工面积/全部验收鉴定的房屋建筑竣工面积×100％）

4）降低成本指标

降低成本额＝预算成本－（施工组织设计）计划成本

降低成本率＝降低成本额/预算成本×100％

5）安全指标

安全指标以工伤事故频率表示，其计算公式为

工伤事故频率＝工伤事故人次数/本年职工平均人数×100％

6）机械指标

（1）大型机械单方耗用台班。

大型机械单方耗用台班＝耗用总台班/建筑面积

（2）单方大型机械费。

单方大型机械费＝计划大型机械台班费（元）/建筑面积（平方米）

（3）施工机械化程度。

施工机械化程度＝机械化施工完成工作量/总工作量

（4）施工机械完好率。

施工机械完好率＝计划内机械完好台班数/计划内机械制度台班数×100％

（5）施工机械利用率。

施工机械利用率＝计划内机械工作台班数/计划内机械制度台班数×100％

7）主要材料（钢筋、木材、水泥）节约指标

主要材料节约量＝预算用量－（施工组织设计）计划用量

主要材料节约率＝主要材料节约量/主要材料预算用量×100％

8）施工现场场地综合利用指标

施工现场场地综合利用系数＝临时设施及材料堆场占地面积/（施工现场占地面积－待建建筑物占地面积）

9）预制化施工程度指标

预制化施工程度＝在工厂及现场预制的工作量/总工作量

10）临时工程投资比例指标

临时工程投资比例＝（临时工程投资－回收费＋租用费）/建筑安装工程总值

3. 技术经济分析要点

技术经济分析应围绕质量、工期、成本三个主要方面，在质量能符合要求的前提下，力求工期合理、成本节约。

对于单位工程施工组织设计的施工方案，不同的工程内容应有不同的技术经济分析重点指标。

（1）基础工程应以土方工程、现浇混凝土、打桩、排水和防水、运输进度与工期为重点。

(2) 结构工程应以垂直运输机械选择、流水段划分、劳动组织、现浇钢筋混凝土支模、浇灌及运输、脚手架选择、特殊分项工程施工方案、各项技术组织措施为重点。

(3) 装修阶段应以施工顺序、质量保证措施、劳动组织、分工协作配合、节约材料、技术组织措施为重点。

4. 技术经济分析程序

(1) 建立各种可能的施工组织设计（施工方案）。

(2) 分析每个方案的优缺点。

(3) 建立各自的数学模型。

(4) 计算求解数学模型。

(5) 做施工组织设计（施工方案）的最终综合评价。

5. 技术经济分析方法

技术经济分析有定性分析和定量分析两类方法。

1) 定性分析

定性分析是根据以往经验，经过广泛调查研究，对若干个施工方案进行优缺点比较，如技术上是否可行、安全上是否可靠、经济上是否合理、资源上能否满足要求等，从中选出比较合理的施工方案。此方法比较简单，但主观随意性较大。

2) 定量分析

定量分析是综合运用数学计算和论证分析的方法，计算施工方案中若干相同的、主要的技术经济指标，进行综合分析比较，选出各项指标较好的施工方案。这种方法比较客观，但指标的确定和计算比较复杂。

定量分析主要有以下几种方法。

(1) 综合评价法。常用的综合评价法有单指标评价法和多指标评价法。

① 单指标评价法是通过对某一项定量评价指标的计算、分析、比较来评价方案优劣，如在建设工程中较常采用的工期指标、劳动量消耗指标、材料物资消耗指标、费用（成本）指标等。

② 多指标评价法是通过对若干技术经济指标的计算、分析、比较来评价方案优劣，又可分为多指标对比法和多指标综合评分法。

a. 多指标对比法。这种方法首先需要将指标体系中的各个指标按其在评价中的重要性分为主要指标和辅助指标。主要指标是能够比较充分反映工程的技术经济特点的指标，是确定工程项目经济效果的主要依据；辅助指标在技术经济分析中处于次要地位，是主要指标的补充，当主要指标不足以说明方案的技术经济效果优劣时，辅助指标就成为进一步进行技术经济分析的依据。

该方法简便实用，应用广泛。比较时要选用适当的指标，同时注意满足需要、消耗费用、价格指标及时间上的可比性。有两种情况要分别对待：一种是一个方案的各项指标均优于另一个方案，优劣是明显的；另一种是通过计算，几个方案的指标优劣有穿插，分析比较时要进行加工，形成一种单指标，然后判别优劣。

b. 多指标综合评分法。这种方法首先要对设计、施工方案设定若干个评价指标，并按其重要程度确定各指标的权重，确定评分标准，然后就各设计方案对各指标的满足程度打分，最后计算各方案的加权得分，以得分最高者为最优方案。其计算公式为

$$S=\sum_{i=1}^{n}S_iW_i$$

式中　S——设计方案总得分；

S_i——某方案在评价指标 i 上的得分；

W_i——评价指标 i 的权重；

n——评价指标数。

【例 7－1】 某项目公开招标，有 A、B、C 三家公司投标，依据评标方案对三家公司施工组织设计中的施工部署、施工方案、施工进度计划、施工平面图、其他指标进行专家评审。评审时对三家公司施工组织设计的各项指标进行打分，具体数值见表 7－1。

表 7－1　各施工组织设计评价指标得分表

X	*Y*	施工组织设计各指标得分		
		A 公司	B 公司	C 公司
施工方案	0.3	85	70	90
施工部署	0.2	85	70	95
施工进度计划	0.2	80	90	85
施工平面图	0.2	90	90	80
其他指标	0.1	90	85	80
Z				

(1) 表 7－1 中，X、Y、Z 分别代表的栏目名称应当是什么？

(2) 试对三家公司的施工组织设计进行评价分析。

【解】 (1) 表 7－1 中，X 应为评价指标，Y 应为各评价指标的权重，Z 应为各方案的综合得分（或加权得分）。

(2) 各方案的综合得分等于各方案的各指标得分与该指标权重的乘积之和，见表 7－2。

表 7－2　各方案综合评价计算表

评价指标	权重	施工组织设计各指标得分		
		A 公司	B 公司	C 公司
施工方案	0.3	85×0.3＝25.5	70×0.3＝21.0	90×0.3＝27.0
施工部署	0.2	85×0.2＝17.0	70×0.2＝14.0	95×0.2＝19.0
施工进度计划	0.2	80×0.2＝16.0	90×0.2＝18.0	85×0.2＝17.0
施工平面图	0.2	90×0.2＝18.0	90×0.2＝18.0	80×0.2＝16.0
其他指标	0.1	90×0.1＝9.0	85×0.1＝8.5	80×0.1＝8.0
综合得分		85.5	79.5	87.0

根据计算结果可知，C 公司的综合得分最高，因此 C 公司编制的施工组织设计最优。

(2) 价值工程法。

① 价值工程法的基本原理。"价值"在此是功能和实现这个功能所耗费用（成本）的比值，其表达式为

$$V=F/C$$

式中 V 为价值系数，F 为功能系数，C 为成本系数，其各自的计算公式如下。

功能系数＝各功能得分值/全部功能得分值之和

成本系数＝各项目成本值/全部项目成本值之和

价值系数＝功能系数/成本系数

② 价值工程法在施工组织设计中的应用。开展价值工程活动的一般步骤是：方案功能分析→方案功能评价→方案创新→方案评价。

a. 价值工程法在方案评价、改进中的应用。对一个方案进行评价和确定重点改进对象的基本步骤是：选择开展价值工程活动的对象；分析研究对象具有哪些功能，各项功能之间的关系，确定功能评价系数；计算实现各项功能的现实成本，确定成本系数；确定研究对象的目标成本，并将目标成本分摊到各项功能上；将各项功能的目标成本与现实成本进行对比，确定成本改进期望值大的功能项目作为重点改进对象。

b. 价值工程法在多方案评价、比选中的应用。对提出的若干可行方案进行评价、比选的基本步骤是：建立功能评价指标体系，并就每个方案对各项功能评价指标的满足程度打分；确定功能评价指标权重（即所有功能评价指标的相对重要程度系数），其方法主要有 0～1 评分法和 0～4 评分法；用功能评价指标权重乘以每个方案的功能评价得分并求和，作为每个方案的加权得分；以每个方案的加权得分占所有方案加权得分合计的比值作为每个方案的功能系数（或称功能评价系数、功能评价指数）；以每个方案的成本占所有方案成本合计的比值作为每个方案的成本系数（或称成本评价系数、成本评价指数）；以每个方案的功能系数与成本系数的比值作为每个方案的价值系数；以价值系数最大的方案作为最优方案。

【例 7－2】某承包商在某高层住宅楼的现浇楼板施工中，拟采用钢木组合模板体系或小钢模体系两个方案。经有关专家讨论，决定从模板总摊销费用 F_1、楼板浇筑质量 F_2、模板人工费 F_3、模板周转时间 F_4、模板装拆便利性 F_5 五个技术经济指标对该两个方案进行评价，并采用 0～1 评分法对各技术经济指标的重要程度进行评分，见表 7－3。两方案各技术经济指标的得分见表 7－4。

表 7－3 指标重要程度评分

指　　标	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
F_1	×	0	1	1	1
F_2		×	1	1	1
F_3			×	0	1
F_4				×	1
F_5					×

表 7-4 两方案各技术经济指标的得分

指　　标	方　　案	
	钢木组合模板体系	小钢模体系
F_1	10	8
F_2	8	10
F_3	8	10
F_4	10	7
F_5	10	9

经造价工程师估算，钢木组合模板体系在该工程的总摊销费用为40万元，每平方米楼板的模板人工费为8.5元；小钢模体系在该工程的总摊销费用为50万元，每平方米楼板的模板人工费为6.8元。该住宅楼的楼板工程量为2.5万平方米。

(1) 试确定各技术经济指标的权重（计算结果保留三位小数）；

(2) 若以楼板工程的单方模板费用作为成本比较对象，试用价值指数法选择较经济的模板体系（功能指数、成本指数、价值指数的计算结果均保留三位小数）。

【解】(1) 根据0～1评分法的计分办法，两指标（或功能）相比较时，较重要的指标得1分，另一较不重要的指标得0分。各技术经济指标得分和权重的计算结果见表7-5。

表 7-5 各技术经济指标得分和权重的计算结果

指标	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	得分	修正得分	权重
F_1	×	0	1	1	1	3	4	4/15=0.267
F_2	1	×	1	1	1	4	5	5/15=0.333
F_3	0	0	×	0	1	1	2	2/15=0.133
F_4	0	0	1	×	1	2	3	3/15=0.200
F_5	0	0	0	0	×	0	1	1/15=0.067
合计						10	15	1.000

(2) 计算两方案的功能指数、成本指数、价值指数。

① 计算两方案的功能指数，其结果见表7-6。

表 7-6 两方案的功能指数计算结果

技术经济指标	权重	钢木组合模板体系方案	小钢模体系方案
F_1	0.267	10×0.267=2.67	8×0.267=2.14
F_2	0.333	8×0.333=2.66	10×0.333=3.33
F_3	0.133	8×0.133=1.06	10×0.133=1.33
F_4	0.200	10×0.200=2.00	7×0.200=1.40
F_5	0.067	10×0.067=0.67	9×0.067=0.60
合计	1.000	9.06	8.80
功能指数		9.06/(9.06+8.80)=0.507	8.80/(9.06+8.80)=0.493

② 计算两方案的成本指数时，需要根据背景资料所给出的数据先计算两方案楼板工程量的单方模板费用，再计算其成本指数。

钢木组合模板体系方案的单方模板费用＝40/2.5＋8.5＝24.5(元/m^2)

小钢模体系方案的单方模板费用＝50/2.5＋6.8＝26.8(元/m^2)

由此可得

钢木组合模板体系方案的成本指数＝24.5/(24.5＋26.8)＝0.478

小钢模体系的方案成本指数＝26.8/(24.5＋26.8)＝0.522

③ 计算两方案的价值指数。

钢木组合模板体系方案的价值指数＝0.507/0.478＝1.061

小钢模体系方案的价值指数＝0.493/0.522＝0.944

因为钢木组合模板体系方案的价值指数高于小钢模体系方案的价值指数，故应选用钢木组合模板体系。

(3) 费用分析比较法。费用分析比较法包括最小费用法、最大收益法、净现值法、等额年值法等。在应用此法时，一般情况下先分别计算每一可行方案的全部费用，然后进行比较，从中选择最优方案。

随着各种先进的技术和理论不断引入建筑工程领域，施工组织设计（施工方案）技术经济分析的方式也在不断更新和完善，从而更具科学性、准确性。目前 ISO 9000 系列国际质量体系标准的广泛推行，也使得技术经济分析成为企业的必要行为，在合同评审、过程控制等程序中，技术经济分析是建筑产品质量控制的必要依据。

7.6 单位工程施工组织设计编制

单位工程施工组织设计是以单位（子单位）工程为主要对象编制的施工组织设计，对单位（子单位）工程的施工过程起指导和制约作用。它是建筑施工企业组织和指导单位工程施工全过程各项活动的技术经济文件，是基层施工单位编制季度、月度、旬施工作业计划、分部分项工程作业设计，以及劳动力、材料、预制构件、施工机具等供应计划的主要依据。

单位工程施工组织设计应由项目负责人主持编制，由施工单位技术负责人或技术负责人授权的技术人员审批。它必须在工程开工前编制完成，以作为工程施工技术资料准备的重要内容和关键成果，并应经该工程监理单位的总监理工程师批准方可实施。

1. 单位工程施工组织设计的编制依据

(1) 与工程建设有关的法律、法规、标准和文件。

(2) 工程施工合同或招标投标文件。

(3) 主管部门的批示文件及有关要求，包括上级机关对工程的有关指示和要求及建设单位对施工的要求。

（4）工程设计文件，包括单位工程的全套施工图纸、图纸会审纪要及有关标准图。

（5）施工企业年度施工计划，主要有本工程开、竣工日期的规定，以及与其他项目穿插施工的要求等。

（6）施工组织总设计。单位工程是整个建设项目的一个组成部分，应把施工组织总设计作为编制依据。

（7）工程预算文件及有关定额。应有详细的分部分项工程量，必要时应有分层、分段、分部位的工程量，以及使用的预算定额和施工定额。

（8）建设单位对工程施工可能提供的条件，主要有供水、供电、供热的情况，及可借用作为临时办公、仓库、宿舍的施工用房等。

（9）施工条件，包括施工企业的生产能力、人员、机具设备状况、技术水平等。

（10）施工现场的勘察资料，主要有高程、地形、地质、水文、气象、交通运输、现场障碍物等情况，以及工程地质勘察报告、地形图、测量控制网。

（11）有关的参考资料及施工组织设计实例。

2. 单位工程施工组织设计的编制原则

单位工程施工组织设计的编制必须遵循工程建设程序，并应符合下列原则。

（1）符合施工合同或招标文件中有关工程进度、质量、安全、环境保护、造价等方面的要求。

（2）积极开发、使用新技术和新工艺，推广应用新材料和新设备。

（3）坚持科学的施工程序和合理的施工顺序，采用流水施工和网络计划等方法，科学配置资源，合理布置现场，采取季节性施工措施，实现均衡施工，达到合理的经济技术指标。

（4）采取技术和管理措施，推广建筑节能和绿色施工。

（5）与质量、环境和职业健康安全三个管理体系有效结合。

3. 单位工程施工组织设计的编制内容

根据工程的性质、规模、结构特点、技术复杂难易程度和施工条件等，单位工程施工组织设计编制内容的深度和广度也不尽相同，一般来说应包括下列主要内容。

1）工程概况

工程概况应包括工程主要情况、各专业设计简介和工程施工条件等。

（1）工程主要情况应包括下列内容。

① 工程名称、性质和地理位置。

② 工程的建设、勘察、设计、监理和总承包等相关单位的情况。

③ 工程承包范围和分包工程范围。

④ 施工合同、招标文件或总承包单位对工程施工的重点要求。

⑤ 其他应说明的情况。

（2）各专业设计简介应包括下列内容。

① 建筑设计简介应依据建设单位提供的建筑设计文件进行描述，包括建筑规模、建筑功能、建筑特点、建筑耐火、建筑防水及建筑节能要求等，并应简单描述工程的主要装修做法。

② 结构设计简介应依据建设单位提供的结构设计文件进行描述，包括结构形式、地基基础形式、结构安全等级、抗震设防类别、主要结构构件类型及要求等。

③ 机电及设备安装专业设计简介应依据建设单位提供的各相关专业设计文件进行描述，包括给水、排水及采暖系统，通风与空调系统，电气系统，智能化系统，电梯等各个专业系统的做法要求。

（3）工程施工条件应包括下列内容。

① 项目建设地点气象状况。

② 项目施工区域地形和工程水文地质状况。

③ 项目施工区域地上、地下管线及相邻的地上、地下建（构）筑物情况。

④ 与项目施工有关的道路、河流等状况。

⑤ 当地建筑材料、设备供应和交通运输等服务能力状况。

⑥ 当地供电、供水、供热和通信能力状况。

⑦ 其他与施工有关的主要因素。

2）施工部署

（1）工程施工目标应根据施工合同、招标文件及本单位对工程管理目标的要求确定，包括进度、质量、安全、环境和成本等目标。各项目标应满足施工组织总设计中确定的总体目标。

（2）施工部署中的进度安排和空间组织应符合下列规定。

① 应明确说明工程主要施工内容及其进度安排，施工顺序应符合工序逻辑关系。

② 施工流水段应结合工程具体情况进行划分，单位工程施工阶段的划分一般包括地基基础、主体结构、装饰装修和机电设备安装三个阶段。

（3）对于工程施工的重点和难点应进行分析，包括组织管理和施工技术两个方面。

（4）工程管理的组织机构形式宜采用框图的形式表示，并确定项目经理部的工作岗位设置及其职责划分。

（5）对于工程施工中开发和使用的新技术、新工艺应做出部署，对新材料、新设备的使用应提出技术及管理要求。

（6）对主要分包工程施工单位的选择要求及管理方式应进行简要说明。

3）施工进度计划

（1）单位工程施工进度计划应按照施工部署的安排进行编制。

（2）施工进度计划可采用网络图或横道图表示，并附必要说明；对于工程规模较大或较复杂的工程，宜采用网络图表示。

4）施工准备与资源配置计划

（1）施工准备应包括技术准备、现场准备和资金准备等。

① 技术准备：应包括施工所需技术资料的准备、施工方案编制计划、试验检验及设备调试工作计划、样板制作计划等。

a. 主要分部（分项）工程和专项工程在施工前应单独编制施工方案，施工方案可根据工程进展情况分阶段编制完成；对需要编制的主要施工方案应制订编制计划。

b. 试验检验及设备调试工作计划应根据现行规范、标准中的有关要求及工程规模、

进度等实际情况制订。

c. 样板制作计划应根据施工合同或招标文件的要求并结合工程特点制订。

② 现场准备：应根据现场施工条件和实际需要，准备现场生产、生活等临时设施。

③ 资金准备：应根据施工进度计划编制资金使用计划。

（2）资源配置计划应包括劳动力配置计划和物资配置计划等。

① 劳动力配置计划应包括下列内容。

a. 确定各施工阶段用工量。

b. 根据施工进度计划确定各施工阶段劳动力配置计划。

② 物资配置计划应包括下列内容。

a. 主要工程材料和设备的配置计划应根据施工进度计划确定，包括各施工阶段所需主要工程材料、设备的种类和数量。

b. 工程施工主要周转材料和施工机具的配置计划应根据施工部署和施工进度计划确定，包括各施工阶段所需主要周转材料、施工机具的种类和数量。

5）主要施工方案

（1）单位工程应按照《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB 50300—2013）中分部、分项工程的划分原则，对主要分部、分项工程制定施工方案。

（2）对脚手架工程、起重吊装工程、临时用水用电工程、季节性施工等专项工程所采用的施工方案，应进行必要的验算和说明。

6）施工现场平面布置图

（1）施工现场平面布置图应结合施工组织总设计，按不同施工阶段分别绘制。

（2）施工现场平面布置图应包括下列内容。

① 工程施工场地状况。

② 拟建建（构）筑物的位置、轮廓尺寸、层数等。

③ 工程施工现场的加工设施、存贮设施、办公和生活用房等的位置和面积。

④ 布置在工程施工现场的垂直运输设施、供电设施、供水供热设施、排水排污设施和临时施工道路等。

⑤ 施工现场必备的安全、消防、保卫和环境保护等设施。

⑥ 相邻的地上、地下既有建（构）筑物及相关环境。

7）主要技术经济指标

主要包括工期指标、工程质量指标、降低成本指标、机械使用指标、劳动力指标、主要材料节约指标等内容。

对于建筑结构比较简单、工程规模比较小、技术要求比较低，拟采用传统施工方法组织施工的一般工业与民用建筑，其施工组织设计可以编制得简单一些，内容一般只包括施工方案、施工进度表、施工平面图，辅以扼要的文字说明即可，简称为“一案一表一图”。

4. 单位工程施工组织设计的编制程序

单位工程施工组织设计的编制程序，是指单位工程施工组织设计各个组成部分形成的先后次序及相互之间的制约关系，如图 7 - 6 所示。

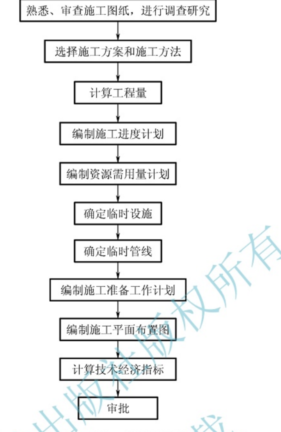


图 7-6　单位工程施工组织设计的编制程序

5. 单位工程施工组织设计实例

参见附录。

7.7　施工组织总设计编制

施工组织总设计是以若干单位工程组成的群体工程或特大型项目为主要对象编制的施工组织设计，对整个项目的施工过程起统筹规划、重点控制的作用。它是根据初步设计或扩大初步设计图纸，以及其他有关资料和现场施工条件编制，用以指导整个施工现场各项施工准备和组织施工活动的技术经济文件。

施工组织总设计应由项目负责人主持编制，由总承包单位技术负责人审批。施工组织总设计可根据需要分阶段编制和审批。

1. 施工组织总设计的作用

施工组织总设计一般由建设总承包单位或工程项目经理部的总工程师编制，其主要作用如下。

(1) 为建设项目或建筑群的施工做出全局性的战略部署。

（2）为做好施工准备工作、保证资源供应提供依据。

（3）为建设单位编制工程建设计划提供依据。

（4）为施工单位编制施工计划和单位工程施工组织设计提供依据。

（5）为组织整个施工作业提供科学方案和实施步骤。

（6）为确定设计方案的施工可行性和经济合理性提供依据。

2. 施工组织总设计的编制依据

为了保证施工组织总设计的编制工作顺利进行并提高质量，使设计文件更能结合工程实际情况，更好地发挥施工组织总设计的作用，在编制施工组织总设计时，应具备下列编制依据。

（1）计划文件及有关合同，包括国家批准的基本建设计划、可行性研究报告、工程项目一览表、分期分批施工项目和投资计划、主管部门的批件、施工单位上级主管部门下达的施工任务计划、招投标文件及签订的工程承包合同、工程材料和设备的订货合同等。

（2）设计文件及有关资料，包括建设项目的有关设计图纸、设计说明书、建筑总平面图、建设地区区域平面图、建筑竖向设计、总概算或修正概算等。

（3）工程勘察和原始资料，包括建设地区的地形、地貌、工程地质及水文地质、气象等自然条件，交通运输、能源、预制构件、建筑材料、水电供应及机械设备等技术经济条件，建设地区的政治、经济、文化、生活、卫生等社会生活条件。

（4）现行规范、规程和有关技术规定，包括国家现行的施工及验收规范、操作规程、定额、技术规定和技术经济指标。

（5）类似工程的施工组织总设计和有关参考资料。

3. 施工组织总设计的编制内容

施工组织总设计的编制内容根据工程性质、规模、工期、结构特点及施工条件的不同而有所不同，通常应包括下列主要内容。

1）工程概况

工程概况应包括项目主要情况和项目主要施工条件等。

（1）项目主要情况应包括下列内容。

① 项目名称、性质、地理位置和建设规模。

② 项目的建设、勘察、设计和监理等相关单位的情况。

③ 项目设计概况。

④ 项目承包范围及主要分包工程范围。

⑤ 施工合同或招标文件对项目施工的重点要求。

⑥ 其他应说明的情况。

（2）项目主要施工条件应包括下列内容。

① 项目建设地点气象状况。

② 项目施工区域地形和工程水文地质状况。

③ 项目施工区域地上、地下管线及相邻的地上、地下建（构）筑物情况。

④ 与项目施工有关的道路、河流等状况。

⑤ 当地建筑材料、设备供应和交通运输等服务能力状况。

⑥ 当地供电、供水、供热和通信能力状况。

⑦ 其他与施工有关的主要因素。

2）总体施工部署

(1) 施工组织总设计应对项目总体施工做出下列宏观部署。

① 确定项目施工总目标，包括进度、质量、安全、环境和成本目标。

② 根据项目施工总目标的要求，确定项目分阶段（期）交付的计划。

③ 确定项目分阶段（期）施工的合理顺序及空间组织。

(2) 对于项目施工的重点和难点应进行简要分析。

(3) 总承包单位应明确项目管理组织机构形式，并宜采用框图的形式表示。

(4) 对于项目施工中开发和使用的新技术、新工艺应做出部署。

(5) 对主要分包项目施工单位的资质和能力应提出明确要求。

3）施工总进度计划

(1) 施工总进度计划应按照项目总体施工部署的安排进行编制。

(2) 施工总进度计划可采用网络图或横道图表示，并附必要说明。

4）总体施工准备与主要资源配置计划

(1) 总体施工准备应包括技术准备、现场准备和资金准备等。

(2) 技术准备、现场准备和资金准备应满足项目分阶段（期）施工的需要。

(3) 主要资源配置计划应包括劳动力配置计划和物资配置计划等。

(4) 劳动力配置计划应包括下列内容。

① 确定各施工阶段（期）的总用工量。

② 根据施工总进度计划确定各施工阶段（期）的劳动力配置计划。

(5) 物资配置计划应包括下列内容。

① 根据施工总进度计划确定主要工程材料和设备的配置计划。

② 根据总体施工部署和施工总进度计划确定主要施工周转材料和施工机具的配置计划。

5）主要施工方法

(1) 施工组织总设计应对项目涉及的单位（子单位）工程和主要分部分项工程所采用的施工方法进行简要说明。

(2) 对脚手架工程、起重吊装工程、临时用水用电工程、季节性施工等专项工程所采用的施工方法应进行简要说明。

6）施工总平面布置图

(1) 施工总平面布置图应符合下列要求。

① 根据项目总体施工部署，绘制现场不同施工阶段（期）的总平面布置图。

② 施工总平面布置图的绘制应符合国家相关标准要求，并附必要说明。

(2) 施工总平面布置图应包括下列内容。

① 项目施工用地范围内的地形状况。

② 全部拟建的建（构）筑物和其他基础设施的位置。

③ 项目施工用地范围内的加工设施、运输设施、存储设施、供电设施、供水供热设施、排水排污设施、临时施工道路和办公生活用房等。

④ 施工现场必备的安全、消防、保卫和环境保护等设施。

⑤ 相邻的地上、地下既有建（构）筑物及相关环境。

7）主要技术经济指标

主要包括工期指标、劳动生产率指标、质量指标、安全指标、降低成本指标、主要工程工种机械化程度指标、主要材料节约指标等内容。

4. 施工组织总设计的编制程序

施工组织总设计的编制程序如图7－7所示。



图7－7 施工组织总设计的编制程序

5. 施工组织总设计的实施、修改、补充与过程监视

1）施工组织设计的实施

（1）施工组织总设计应在工程开工前编制完成。

（2）施工单位应在危险性较大的分部分项工程施工前编制专项方案；对于超过一定规模的危险性较大的工程，施工单位应组织专家对专项方案进行论证。

（3）项目施工前应进行施工组织总设计逐级交底，并形成“施工组织总设计交底记录”。

（4）项目施工过程中，应按照施工组织总设计的要求实施，并对执行情况进行检查、分析和适时调整。

（5）施工组织总设计应在工程竣工验收后归档。

2）施工组织总设计的修改或补充

（1）项目施工过程中发生以下情况之一时，施工组织总设计应及时进行修改或补充。

① 工程设计有重大修改。

② 有关法律、法规、规范和标准实施、修订或废止。

③ 主要施工方法有重大调整。

④ 主要施工资源配置有重大调整。

⑤ 施工环境有重大改变。

(2) 施工组织总设计修改或补充应按相关规定和程序办理审批手续。

3) 过程监视

(1) 施工企业工程管理部门应对施工组织总设计的实施情况进行不定期检查，发现问题要求被检查单位限期整改，并将整改记录反馈给检查部门及时验证。

(2) 项目部技术部门（技术负责人）应对施工组织总设计的执行情况进行监督检查。



【施工组织总设计实例】

【案例】施工组织总设计实例

一、×××项目基坑开挖施工部署

1. 项目概况

×××项目建设单位为九龙仓长沙置业有限公司，施工单位为中建二局，基坑占地面积为 98000m^2，建筑面积为 1010000m^2，开挖面积为 74000m^2，大面积开挖深度为 33.825m，开挖最大深度为 42.45m（1#塔楼电梯井），1#塔楼高 452m，2#塔楼高 315m。图 7－8 所示为项目效果图。



图 7－8　项目效果图

2. 周边环境

工程周边环境如图 7-9 所示。

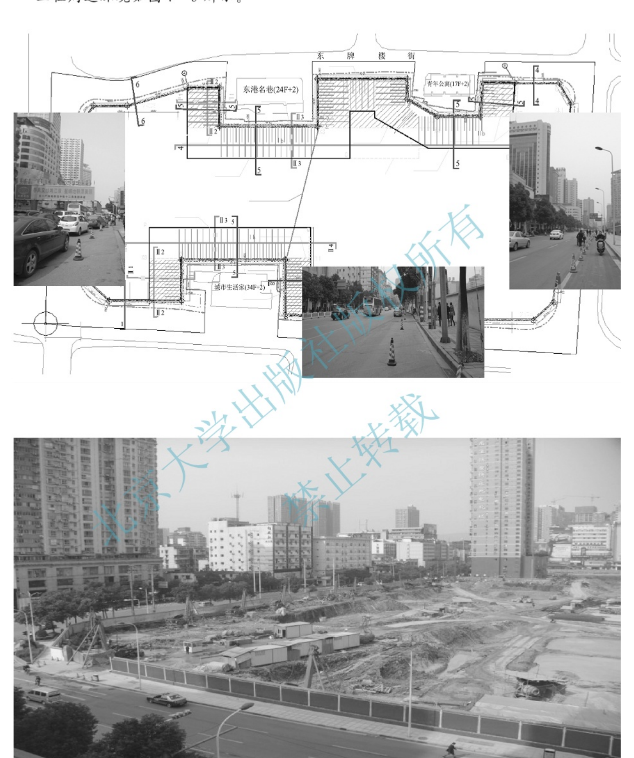


图 7-9　工程周边环境

3. 施工部署

施工部署如图 7-10～图 7-12 所示。

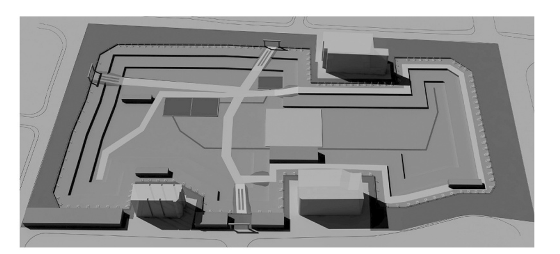


图 7－10　第一阶段基坑开挖

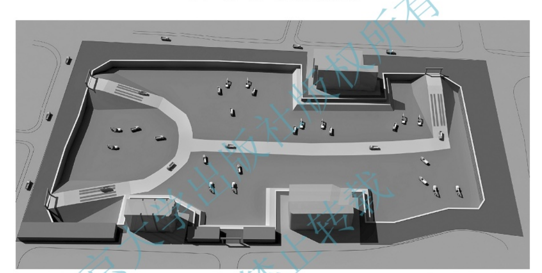


图 7－11　第二阶段基坑开挖



图 7－12　第一阶段基坑开挖实况

二、×××项目三、四区工程

1. 项目概况

×××项目是深圳市的重点工程，其中×××项目三、四区工程属于综合型商业住宅建筑群，集研发、商业、写字楼等众多功能为一体，占地面积为 60000m²，总建筑面积 877242.59m²，总投资约 36 亿元，分三、四两个区，由六栋塔楼、地下室、裙房组成，建筑总高度范围为 63～273m。该项目于 2013 年 12 月 1 日开工，2018 年 1 月 20 日竣工。图 7－13 为项目效果图。

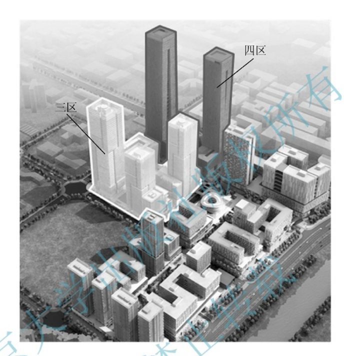


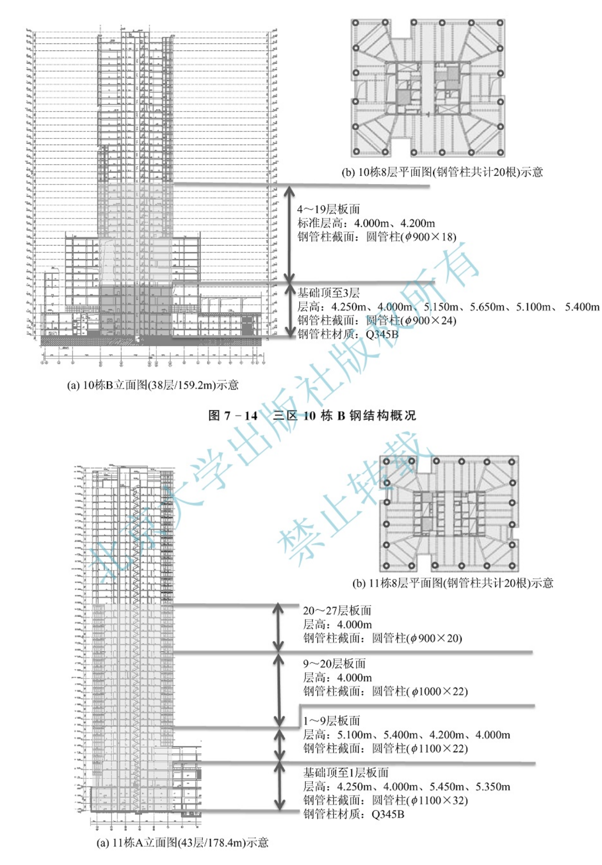
图 7－13　项目效果图

该项目三区的工程概况见表 7－7、图 7－14 和图 7－15，项目四区的工程概况见表 7－8 和图 7－16。

表 7－7　项目三区的工程概况

三区建筑概况				
用地面积	45000m²			
地下室面积	119600m²			
总建筑面积	468900m²			
塔楼编号	11A	11B	10A	10B
楼层 地下/地上	－3F/43F	－3F/13F	－3F/30F	－3F/38F
总高度/m	190	60	130	170
用途	产业研发	酒店	商业、产业研发	产业研发

三区结构概况				
塔楼编号	11A	11B	10A	10B
基础形式	冲孔灌注桩	预应力管桩	冲孔灌注桩	冲孔灌注桩
结构类型	框架-核心筒结构	框架-核心筒结构	框架-核心筒结构	框架-核心筒结构
抗震设防热度	8 度	7 度	7 度	8 度
标准层高度/m	4.0	3.6/4.0	4.0	4.0



(b) 10栋8层平面图(钢管柱共计20根)示意

(a) 10栋B立面图(38层/159.2m)示意

图 7－14　三区 10 栋 B 钢结构概况

(b) 11栋8层平面图(钢管柱共计20根)示意

(a) 11栋A立面图(43层/178.4m)示意

图 7－15　三区 11 栋 A 钢结构概况

表 7－8 项目四区的工程概况

四区建筑概况		
用地面积	$27000m^2$	
地下室面积	$60400m^2$	
总建筑面积	$405400m^2$	
塔楼编号	12A	12B
楼层	－3F/43F	－3F/30F
总高度/m	273	245
用途	产业研发酒店	商业、产业研发

四区结构概况		
塔楼编号	12A	12B
基础形式	冲孔灌注桩	冲孔灌注桩
结构类型	框架-核心筒结构	框架-核心筒结构
抗震设防热度	8度	8度
标准层高度/m	4.2	4.2

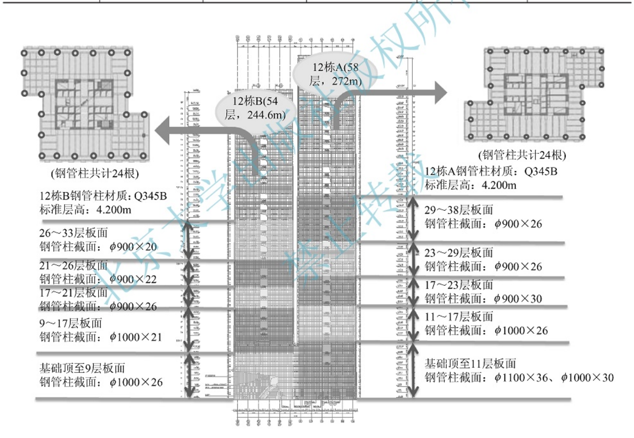


图 7－16 四区 12 栋钢结构概况

2. 施工总平面布置图

施工总平面布置图如图 7－17 所示。

3. 施工重点、难点

（1）超长大直径冲孔灌注桩施工质量控制。本工程塔楼基础结构形式为大直径冲孔灌注桩，规模体量大，冲孔及入岩深度深。三、四区冲孔灌注桩总数量为 298 条，最大直径为 2.6m，最大孔深为 67m。针对超大、超长施工技术难点，通过采用分体式套筒连接、自动拉锤等各种施工技术防止冲孔桩塌孔现象产生。

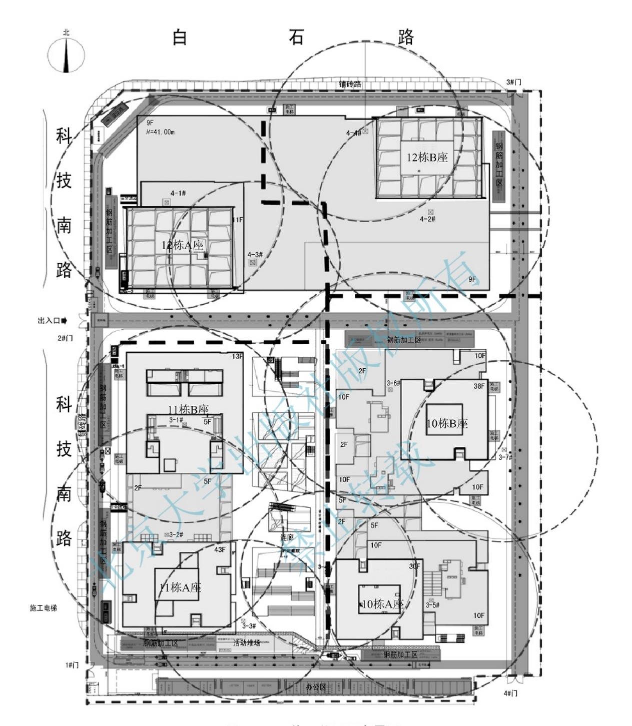


图 7-17　施工总平面布置图

（2）大悬挑、大跨度钢结构施工质量控制。本工程四区 12 栋裙楼大悬挑钢结构部分挑出长度近 36m，下部净空近 23m，最大构件近 17t，是钢结构吊装施工的难点，如图 7-18 所示。为此采用钢桁架柱做临时支撑，进行原位散件拼装。

（3）机电管线综合设计。本工程为大型综合项目，其中包含了研发、商业、酒店、写字楼，使用功能复杂、体量大、机电专业种类多，因而管线复杂，对机电深化设计的要求高。为此设立了专门的 BIM 深化设计团队，对机电工程做出深化设计并进行管线碰撞检查，在施工之前解决了碰撞冲突问题。

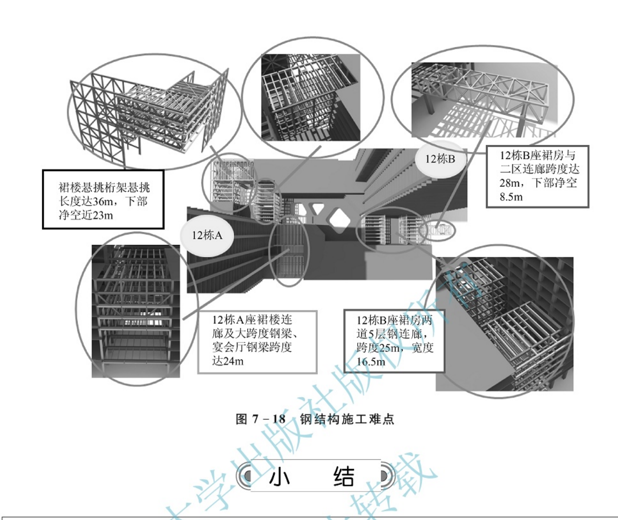


图 7－18 钢结构施工难点

小 结

本单元阐述了施工组织设计的具体内容，包括编制依据、工程概况、施工部署、主要工程项目施工方案、主要施工技术组织措施和技术经济指标等，重点介绍了施工部署、施工方案、主要技术组织措施的编制，而施工组织设计中的施工进度计划、资源需要量计划与施工准备工作计划、施工平面图等内容分别在其他单元中讲述。

施工部署是对整个建设项目全局做出的统筹规划和全面安排，主要解决影响建设项目全局的重大战略问题。施工方案是以分部分项工程或专项工程为主要对象编制的施工技术与组织方案，用以具体指导其施工过程。施工技术组织措施是指降低工程施工成本、保证工程质量、加快工程施工进度、保证工程施工文明和安全等方面的措施。

习 题

一、思考题

1. 什么是施工组织总设计？

2. 施工组织总设计的作用和编制依据是什么？

3. 试述编制单位工程施工组织设计的依据和内容。

4. 单位工程施工组织设计包括哪些内容？其中关键部分是哪几项？

5. 编制单位工程施工组织设计应具备哪些条件？

6. 施工方案的选择着重考虑哪些问题？

二、岗位（执业）资格考试真题

（一）单项选择题

1. 下列施工现场文明施工措施中，正确的是（　　）。

A. 现场施工人员均佩戴胸卡，按工种统一编号管理

B. 市区主要路段设置围挡的高度不低于 2m

C. 项目经理任命专人为现场文明施工第一责任人

D. 建筑垃圾和生活垃圾集中一起堆放，并及时清运

2. 根据住房和城乡建设部文件《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》，搭设高度为 24m 的落地式钢管脚手架工程属于（　　）的分部分项工程。

A. 危险性较大　　B. 超过一定规模的危险性较大

C. 无危险性　　D. 危险性非常大

3. 根据住房和城乡建设部文件《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》，开挖深度为 6m 的基坑支护工程属于（　　）的分部分项工程。

A. 危险性一般　　B. 危险性较大

C. 超过一定规模的危险性较大　　D. 危险性非常大

4. 编制施工组织总设计涉及下列工作：①施工总平面图设计；②拟订施工方案；③编制施工总进度计划；④编制资源需求计划；⑤计算主要工种的工程量。正确的编制程序是（　　）。

A. ⑤—①—②—③—④　　B. ①—⑤—②—③—④

C. ①—②—③—④—⑤　　D. ⑤—②—③—④—①

（二）多项选择题

1. 下列分部分项工程的专项方案中，必须进行专家论证的有（　　）。

A. 爬模工程

B. 搭设高度为 25m 的落地式钢管脚手架工程

C. 施工高度为 50m 的建筑幕墙安装工程

D. 搭设高度为 8m 的混凝土模板支撑工程

E. 搭设高度为 25m 的悬挑式钢管脚手架工程

2. 单位工程施工组织设计中，施工方案的主要内容有（　　）。

A. 施工顺序　　B. 施工方法　　C. 施工机械　　D. 施工平面布置图

3. 编制施工作业指导书的要求有（　　）。

A. 应在作业后编制　　B. 应体现对现场作业的全过程控制

C. 要求概念清楚　　D. 由专业技术人员编写

（三）案例题

某高校新建一栋办公楼和一栋实验楼，均为现浇钢筋混凝土框架结构。办公楼地下一层，地上十一层，建筑檐高 48m；实验楼六层，建筑檐高 22m。建设单位与某施工总承包

单位签订了施工总承包合同。合同约定：①电梯安装工程由建设单位指定分包；②保温工程保修期限为10年。

施工过程中，发生了下述事件：总承包单位上报的施工组织设计中，办公楼采用一台塔式起重机；在七层楼面设置有自制卸料平台；外架采用悬挑脚手架，从地上2层开始分三次到顶。实验楼采用一台物料提升机；外架采用落地式钢管脚手架。监理工程师按照《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》的规定，要求总承包单位编制与之相关的专项施工方案并上报。

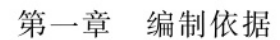
请问该事件中，总承包单位必须单独编制哪些专项施工方案？



【单元7参考答案】

附录　单位工程施工组织设计实例——某住宅楼建安工程施工组织设计

目　录





第一章　编制依据

1. 施工图纸

施工图纸见附表 1。

附表 1　施工图纸

序号	图 纸 名 称	备　　注
1	某住宅楼工程各专业施工图纸	

2. 主要规范规程

主要规范规程见附表 2。

附表 2　主要规范规程

序号	类别	规范、规程名称	编　　号
1	国家	混凝土结构工程施工质量验收规范	GB 50204—2002
2	国家	工程测量规范	GB 50026—2007
3	国家	砌体结构工程施工质量验收规范	GB 50203—2011
4	国家	屋面工程质量验收规范	GB 50207—2002
5	国家	建筑地面工程施工质量验收规范	GB 50209—2010
6	国家	建筑装饰装修工程质量验收规范	GB 50210—2001
7	国家	建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范	GB 50242—2002
8	国家	建筑电气工程施工质量验收规范	GB 50303—2002
9	国家	建设工程文件归档整理规范	GB/T 50328—2001
10	国家	建设工程项目管理规范	GB/T 50326—2006
11	国家	建设工程施工现场供用电安全规范	GB 50194—1993
12	行业	工程网络计划技术规程	JGJ/T 121—1999

续表

序号	类别	规范、规程名称	编　　号
13	行业	钢筋焊接及验收规范	JGJ 18—2003
14	行业	钢筋机械连接技术规程	JGJ 107—2010
15	行业	混凝土泵送施工技术规程	JGJ/T 10—1995
16	行业	建筑工程冬期施工规程	JGJ 104—1997
17	行业	建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范	JGJ 130—2011
18	行业	建筑机械使用安全技术规程	JGJ 33—2001
19	行业	外墙饰面砖工程施工及验收规程	JGJ 126—2000
20	行业	建设工程施工安全技术操作规程	

3. 主要图集

主要图集见附表3。

附表3　主要图集

序号	类别	图集名称	编　　号
1	国家	混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图	03G101
2	地区	中南地区建筑标准设计建筑图集	11ZJ
3	地区	中南地区建筑标准设计结构图集	11ZJ
4	国家	建筑电气安装工程图集	JD10

4. 主要标准

主要标准见附表4。

附表4　主要标准

序号	类别	标准名称	编　　号
1	国家	建筑工程施工质量验收统一标准	GB 50300—2001
2	国家	工程建设标准强制性条文（房屋建筑部分）	
3	国家	混凝土强度检验评定标准	GB 50107—2010
4	国家	房屋建筑制图统一标准	GB/T 50001—2010
5	国家	房屋建筑CAD制图统一规则	GB/T 18112—2000
6	行业	建筑施工安全检查标准	JGJ 59—2011
7	行业	建筑施工现场环境与卫生标准	JGJ 146—2004

5. 主要法规

主要法规见附表5。

附表5　主要法规

序号	类别	法规名称	编　　号
1	国家	中华人民共和国建筑法	主席令第91号
2	国家	中华人民共和国环境保护法	主席令第22号
3	国家	中华人民共和国安全生产法	主席令第70号
4	国家	建设工程质量管理条例	国务院令第279号
5	国家	建设工程安全生产管理条例	国务院令第393号
6	行业	关于建筑业进一步应用推广10项新技术的通知	建建［1998］200号
7	企业	建筑安全法规及文件汇编	

6. 合同及其他

合同及其他见附表6。

附表6 合同及其他

序号	类别	名 称	编 号
1	企业	公司质量、环境、职业健康安全管理体系程序文件	
2	企业	企业拥有的科技成果、工法成果、类似经验	
3		本工程施工总承包合同文件	
4		地质勘察资料	
5		设计交底及有关图纸答疑文件	

第二章 工程概况

1. 总体简介

某住宅楼位于××市韶山中路，韶山路西侧，某院内，该项目总建筑面积17543.97m²，一层架空层面积990.1m²，地下室面积2197.3m²，本工程地上18层，地下1层，建筑总高55.55m，地下室层高4.3m，标准层层高3m。本工程地下室为附建式人防工程，地下负一层建筑面积为2197.3m²，采用人工挖孔灌注桩基础（共计158根，桩长约15m/根，总长2293m），框架-剪力墙结构，6度抗震设防烈度，建筑耐火等级为二级，建筑结构安全等级为二级，屋面防水等级为Ⅱ级。工程基本信息见附表7。

附表7 工程基本信息

工程名称	某住宅楼	工程地址	××市韶山中路
建设单位	××开发有限公司	勘察单位	×××勘察设计院
设计单位	×××建筑规划设计院	监理单位	×××监理有限公司
安全监督单位	××市工程质量安全监督站	施工单位	×××建筑工程公司
主要分包单位		合同工期	355天

承包范围：土方、基础、主体、装饰装修、给排水、强电、弱电、消防、附属工程等（具体以工程量清单为准）。

2. 结构概况

1）地基基础

（1）水文地质情况。场地西侧地势较低，地下室以下地层为强透水层，可以不考虑抗浮，开挖时注意采取有效的排水措施。场地原始地貌为河谷冲积阶地，后经人工建筑用地整平，目前场地平整。场地土地类型为中硬土，建筑场地等级为二级。

（2）建筑采用桩基方案，桩型为人工挖孔灌注桩，桩径为800、900、1000、1100、1200（单位mm），桩长约15m，桩端持力层为圆砾层。人工挖孔桩终孔时，其桩底下3d（d为扩大头尺寸）或5m范围内应无空洞、破碎带、软弱夹层等不良地质条件。施工完成后的桩应进行质量检测，检测方式为钻孔抽芯法、声波透射法或动测法，检测桩数不得少于总桩数的10%。

2）主要结构材料

（1）混凝土：见附表 8。

附表 8　混凝土

项目名称	构件部位	混凝土强度等级	备　　注
地下室	外墙、基础梁板、地下室顶梁板	C35	S8 抗渗混凝土
	其他所有构件	C35	
	后浇带	C40	膨胀混凝土
	桩	C30	
地上 1～18 层	1～3 层柱、墙	C35	
	3～8 层柱、墙	C30	
	8 层以上柱、墙	C25	
	1 层梁、板、楼梯	C35	
	2 层梁、板、楼梯	C30	
	3 层以上梁、板、楼梯	C25	
其他	基础垫层	C15	
	圈梁、构造柱、现浇过梁	C25	
	标准构件		按标准图要求

（2）砌体：见附表 9。

附表 9　砌体

类　　别	构件部位	砖、砌块强度等级	砂浆强度等级	备　　注
外墙	填充墙	200mm 厚 MU10 黏土多孔砖	M7.5	容重＜14kN/m³
其他墙体	填充墙	200mm 厚 MU10 加气混凝土砌块	M7.5	容重＜10kN/m³

3. 建筑概况

1）建筑墙体

（1）外墙采用 240mm 厚 MU10 黏土多孔砖，用 M5.0 混合砂浆砌筑；需做基础的隔墙除另有要求者外，均随混凝土垫层做元宝基础，下底宽 500mm，上底宽 300mm，高 300mm；位于楼层的隔墙可直接安装于结构梁（板）上。

（2）墙身防潮层。在室内地坪下约 60mm 处做 20mm 厚 1∶2 水泥砂浆内加 3%～5% 防水剂的防潮层（在此标高为钢筋混凝土构造或下为砌石构造时可不做），室内地坪标高变化处防潮层应重叠搭接，并在有高低差埋土一侧的墙身做 20mm 厚 1∶2 水泥砂浆防潮层。埋土一侧墙身还应刷水泥基渗透结晶型防水涂料。

（3）墙体预留洞的封堵。混凝土留洞见结构施工图；砌筑墙留洞应待管道设备安装完毕后，用C20细石混凝土填实；变形缝处双墙留洞应在双墙分别增设套管，套管与穿墙管之间应嵌堵密实；防火墙上留洞的封堵应为非燃烧体材料。

2）屋面工程

本工程的屋面为不上人有保温卷材防水屋面，具体做法参见屋顶平面图。屋面排水组织见屋面平面图，外排雨水斗、雨水管采用PVC材质，女儿墙、高低跨屋面等处均涉及泛水，泛水高度为360mm。

3）地下室防水工程

地下室防水工程执行《地下工程防水技术规范》和地方有关规程和规定；根据地下室使用功能，防水等级为一级，设防做法为结构自防水和水泥基渗透结晶型涂料防水，并做BPS涂料防水层。临空且具有厚覆土层的地下室顶板，排水坡度为0.3%～0.5%，覆土层大于或等于规定厚度时可取消保温层。

防水混凝土的施工缝、穿墙管道的预留洞、转角、坑槽、后浇带、变形缝等地下工程防水薄弱环节的构造做法，应按《地下防水工程质量验收规范》处理。

4）门窗工程

建筑外门窗抗风压性能等级为Ⅰ级，气密性能为4级，水密性能为Ⅰ级，保温性能为5级，隔声性能为4级。

门窗立樘：外门窗立樘详见墙身节点图；内门窗立樘除图中另有标明者外，立樘位置距轴线均为250mm；管道竖井门设门槛高300mm。

5）内装修工程

凡设有地漏的房间都应做防水层，图中未注明整个房间做坡度者，均在地漏周围1m范围内做1%～2%的坡度坡向地漏；有水房间的楼地面应低于相邻房间30mm。防水混凝土工程采用低掺量抗裂、防渗建筑纤维材料新技术。

内装修选用的各种材料，均由施工单位制作样板和选样，经确认后进行封样，并据此进行验收。

6）油漆涂料工程

内木门油漆选用清漆。楼梯、平台、护窗钢栏杆选用黑色调和漆，做法为05ZJ001涂12；钢构件除锈后先刷二遍防锈漆。室内外的露明金属件均刷二遍防锈漆，再做同室内外部位相同颜色的磁漆。

各种油漆涂料均由施工单位制作样板，经确认后进行封样，并据此进行验收。

7）其他施工中注意事项

（1）图中所选用标准图中的各种预埋件、预留洞，如楼梯、平台钢栏杆、门窗、建筑配件等本图所标注的各种预留洞与预埋件，应与各工种密切配合经确认无误后方可施工。

（2）两种材料的墙体交接处，应根据饰面材质在做饰面前加金属网或在施工中加贴玻璃丝网格布，防止裂缝。

（3）预埋木砖及与墙体接触的木质面均做防腐处理，露明铁件均做防锈处理。

（4）楼板留洞待设备管线安装完毕后，用C20细石混凝土封堵密实；管道井每三层进行封堵。

8）建筑节能

本住宅朝向南偏东15°；体型为条式建筑，体型系数（建筑物与室外大气接触的外表面积与其所包围的体积的比值）为0.3；本住宅外墙采用面砖饰面，胶粉聚苯颗粒保温浆料保温系统。

围护结构保温体系基本组成如下。

（1）外墙（自外而内）：饰面砖＋镀锌钢丝网抗裂砂浆（锚固件固定）（5mm）＋胶粉聚苯颗粒保温浆料（40mm）＋黏土多孔砖（200m）＋混合砂浆（20m）。

（2）架空层楼板（自上而下）：水泥砂浆（20mm）＋挤塑聚苯板（20mm）＋钢筋混凝土（120mm）＋混合砂浆（20mm）。

（3）屋顶（自上而下）：细石混凝土（40mm）＋水泥砂浆（20mm）＋挤塑聚苯板（40mm）＋防水卷材＋水泥砂浆（20mm）＋钢筋混凝土（120mm）＋混合砂浆（20mm）。

（4）外窗：铝合金中空玻璃窗（5mm＋6A＋5mm），即2片5mm的玻璃中间6mm的空气层（AIR）。

（5）外门：双层金属门板，中间填充15mm厚玻璃棉板。

第三章　项目管理目标

业主对此工程要求很高，本项目部充分理解业主的需求，明确了工程总体质量目标、工期目标、安全文明施工目标、环保目标、科技创新目标、用户服务目标，并进行了分解，明确了责任人。

1. 质量管理目标

本工程质量目标：达到国家施工验收规范的合格标准，力争××省优质工程。

单位工程一次验收合格率100%；设备、材料采购合格率100%；交验工程一次试车成功率100%。

2. 安全与文明施工管理目标

获××省安全质量标准化示范工程。杜绝重伤及死亡事故，不发生火灾事故，不发生交通事故，不发生重大设备损坏事故，轻伤事故频率控制在0.05%以内。

3. 工期管理目标

施工工期：确保360天工程竣工验收。

工期控制如下：计划开工日期2008年12月31日，竣工日期2009年12月20日。开工至±0.00完成为2009年4月17日；2009年8月8日主体结构封顶，2009年8月16日主体结构验收；2009年12月20日竣工验收。

4. 环境管理目标

在项目规划、施工阶段中采用国际公认的可持续发展原则进行绿色施工。噪声排放、污水排放、烟尘排放达标；现场目测无扬尘，严格控制运输遗洒；最大限度地减少化学危险品、油品的泄漏，有毒有害废弃物实现分类管理提高回收利用率；节约能源、资源，建筑材料有害物质限量达标。

环境管理目标责任分解见附表10。

附表 10　环境管理目标责任分解

序号	目标分解项目	责 任 部 门
1	扬尘控制达标	质安管理部
2	噪声控制达标	质安管理部/工程施工部
3	废水管理达标	质安管理部
4	废弃物管理达标	质安管理部/工程施工部
5	运输遗洒达标	质安管理部
6	光污染控制达标	质安管理部

5. 成本管理目标

在保证工程工期和满足施工质量、安全文明施工的条件下，将实际成本控制在成本计划范围内。施工成本控制目标由项目经理负责，成本管理目标责任分解见附表 11。

附表 11　成本管理目标责任分解

序号	目标分解项目	成本降低率	责 任 部 门
1	施工成本计划		商务合约部
2	物资采购	1%	材料供应部
3	机械设备成本控制	2%	工程施工部/商务合约部
4	人工成本控制	1%	工程施工部/商务合约部
5	项目运营成本	5%	项目经理
6	其他成本	1%	财务室
7	施工成本核算		商务合约部
8	实际施工成本纠偏		项目经理

6. 用户服务目标

在履行合同义务的基础上，在工程施工中和交付使用后收集用户的各种意见，清楚顾客对公司的满意程度，逐步提高公司的服务水准，让顾客满意。用户服务目标责任分解见附表 12。

附表 12　用户服务目标责任分解

序号	目标分解项目	具体控制目标	责 任 部 门
1	顾客满意度	无论顾客有何需求，都应积极响应	项目经理
2	工程回访	保修期内每半年一次，定期进行电话回访	技术负责人
3	工程质量保修	保修期内 48 小时内进场	工程施工部
4	使用说明书	工程竣工时提供详细的使用说明书	技术负责人
5	培训	专业系统对用户进行培训后移交	技术负责人

第四章 施工部署

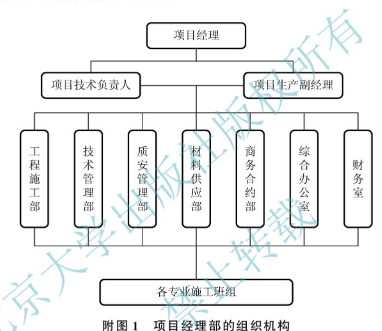
1. 施工组织管理

1）项目组织管理体系

实行项目经理负责制，全面履行对业主的承诺和施工总承包合同。

项目经理部的管理体现集中指挥、统一协调、各负其责的原则。项目经理对整个项目的合同、方案、质量、安全、财务和进度全面负责，委派的项目技术负责人、生产副经理协助项目经理管理项目部。项目部下设工程施工部、技术管理部、质安管理部、材料供应部、商务合约部、综合办公室、财务室等职能部门。

项目经理部的组织机构如附图 1 所示。



附图 1　项目经理部的组织机构

2）职能分工及职责

项目建立完善的岗位责任制，明确领导班子成员的责任，确定每个部门的职责，最后落实到项目每个管理人员，并签订相应的岗位责任状。

（1）项目领导层由一名项目经理、一名项目生产副经理、一名项目技术负责人组成。

① 项目经理为工程的总负责人，全面负责本工程的各项管理工作。

② 项目生产副经理负责土建与安装工程的生产调度、机械设备管理、材料供应与劳动力调动、安全生产和文明施工管理等。

③ 项目技术负责人负责技术攻关、内业资料、预结算、工程质量管理等。

（2）项目管理层由各专业工长（施工员）和内业管理人员组成，成立以下各专业管理部门。

① 工程施工部：负责全部施工管理，主要由各专业工长组成。

② 技术管理部：负责工程的技术管理工作及档案资料、工程技术资料的管理工作。

③ 质安管理部：负责工程质量、安全生产和文明施工管理。

④ 材料供应部：负责工程材料进场组织、周转材料与料具对内租赁管理，以及现场机械设备对内租赁、现场电气设计布置、现场机具的操作与维修保养等。

⑤ 商务合约部：负责工程进度安排、劳动力安排、预算、任务结算、工程合同管理等。

⑥ 综合办公室：负责职工食宿、现场卫生、现场保卫、外来接待、业余娱乐等。

⑦ 财务室：财务报销、财务清算、财务报表、财务费用支出等。

(3) 项目作业层主要为现场一、二线工人，由具有一定操作技术和操作经验的职工队伍组成，计划成立以下专业班组。

① 土方施工队：主要负责土方挖运。

② 结构专业班组：负责结构工程的钢筋、模板、混凝土施工，分钢筋班、木工班与混凝土班。

③ 装饰专业班组：负责装饰工程施工，分泥工班、木工班、油漆班等。

④ 安装专业班组：负责安装工程施工，分电工班、管工班等。

⑤ 普工班：为现场零散用工。

⑥ 防水专业班：负责屋面、卫生间与外墙的防水施工。

⑦ 二线技术班组：包括塔式起重机班、电工班、机修班、放线组、试验组、焊接班等，特种作业人员应经培训持证上岗。

⑧ 后勤服务班组：主要为炊事班与警卫班等。

2. 组织协调

1) 与业主单位的配合与协调（附表 13）

附表 13　与业主单位的配合与协调

序号	配合与协调要点
1	加强与业主的沟通和了解，征求业主对工程施工的意见，对业主提出的问题及时予以答复和处理，不断改进服务态度
2	根据业主的建设意图，发挥企业的技术优势。站在业主的角度，从工程的使用功能、设计的合理性等方面考虑问题，多提合理化施工建议
3	根据合同的要求，科学合理地组织施工，统一协调、管理、解决工程中存在的各种问题，让业主满意
4	配合业主处理好同设计单位、监理单位的关系，积极应邀参与发包人对指定承包专业工程的招标工作，使整个工程在一种和谐的氛围下进行
5	做好竣工后的服务，包括工程回访和保修工作

2) 与监理单位的配合与协调（附表 14）

附表 14　与监理单位的配合与协调

序号	配合与协调要点
1	工程开工前，向监理单位提交施工组织设计和工程总控进度计划，经审批后方可进行施工
2	在施工全过程中，服从监理单位的“四控”（质量控制、投资控制、工期控制和安全控制）、“两管”（即合同管理和资料管理）及监督与协调

续表

序号	配合与协调要点
3	在施工过程中严格执行“三检”制，配合监理单位验收和检查，并按照监理工程师提出的要求予以整改，对各分包单位予以检查，确保产品达到优良，杜绝现场施工分包单位不服从监理工作的现象发生，使监理的一切指令得到全面执行
4	所有进场的成品、半成品、设备、材料、器具等，使用前按规定进行检验、试验，并向监理单位提交产品合格证和检验报告，经确认后方可在工程上应用

3）与设计单位的配合与协调（附表15）

附表15 与设计单位的配合与协调

序号	配合与协调要点
1	在设计交底、图纸会审工作中积极和设计单位沟通，加强设计与施工在工程技术上的协调
2	提前了解设计意图，明确质量要求，将图纸上的问题、专业之间的矛盾等尽最大可能地解决在工程开工之前。对施工图设计不理解、不清楚的地方提出问题和建议；报请业主、监理，经设计单位同意及时下发工程设计变更或工程洽商，不擅自修改施工图纸。施工中出现问题及时与设计单位沟通、解决，尽量在施工前提出问题，以免造成损失
3	根据工程设计要求，配合设计单位绘制需要的施工图或大样图，及时报设计和监理审批
4	在深化设计中积极和设计单位沟通，了解设计理念，明确深化设计的思路，以求深化设计达到原设计的要求

4）公共关系协调与处理

（1）外部关系的协调与处理（附表16）。

附表16 外部关系的协调与处理

协调对象	协调内容或协调依据
政府主管部门	（1）提供所需的有关资料，包括图纸、样品、产品说明等； （2）接受领导、审查，主动请示汇报，取得支持和帮助
公共部门	（1）公共部门与项目施工极为密切，项目经理部应加强计划协调，在质量保证、施工协作、进度衔接等方面取得相应部门的支持和配合； （2）配合协调好道路、市政管理、自来水、燃气、热力、供电、通信等
质量安全监督部门	（1）接受其对施工全过程的质量安全监督、检查、竣工备案和质量评定； （2）工程施工过程中质量安全突发事故的协调和处理
交通管理部门	（1）密切联系交通管理部门，提前提交详细的临时占道、夜间运输计划等，并在交通管理部门批准后严格执行； （2）对于铸钢节点等超宽重型构件的运输，及时向交通管理部门提交运输申请，安排在特殊时段和专门线路进行运输

续表

协调对象	协调内容或协调依据
消防部门	(1) 施工现场消防布置平面图符合消防规范； (2) 消防报检、施工过程中消防检查、系统验收
物资供应单位	(1) 双方履行合同； (2) 充分利用市场竞争体制、价格调节和制约机制
环保部门	(1) 尊重街道居民、环保单位意见，改进工作，取得谅解与配合； (2) 施工现场周边环境卫生、夜间施工、综合治理的组织协调
公安部门	(1) 进场后应向所在地派出所汇报工地性质、人员状况，为外来人员申报暂住证； (2) 施工现场综合治理检查、突发事件处理

(2) 内部关系的协调与处理（附表 17）。

附表 17　内部关系的协调与处理

协调关系		协调方法
组织关系	项目组织系统内各组成部分的分工协作，信息沟通关系	(1) 按职能划分设置组织机构； (2) 以制度形式明确各机构之间的关系和职责权限； (3) 制订工作流程图、建立信息沟通制度，以协调方法、解决问题、缓冲矛盾
需求关系	劳动力、材料、机械设备、资金等供求关系	(1) 通过计划协调生产要求和供应之间的平衡关系； (2) 通过调度体系开展协调工作，排除干扰，抓住重点、关键环节，调节供需矛盾
经济制约关系	管理层与实施层存在弱化的行政领导关系，更多更直接的是以承包合同为中心的经济制约关系	(1) 坚持履行合同； (2) 工作上、技术上为实施层创造条件，保护利益； (3) 定期召开现场会，解决施工中存在的问题； (4) 实施层接受管理层的指导、监督和制约

3. 施工总体设想

根据本工程特点，将某住宅楼三个单元划分为三个施工段组织流水施工。

施工关键线路为：土方开挖→人工挖孔桩→地下室施工→主体结构施工→砌体工程→主体验收→外立面装饰工程→屋面工程→建筑给排水、电气施工→内装饰施工→竣工验收（附图 6）。

施工组织将优先安排关键线路上的分部分项工程施工，合理调配作业资源。本工程土建工程量较大，特别是钢筋混凝土结构房屋工程，施工时需投入大量的土建施工设备和人员。以土建为中心安排施工，遵循先地下后地上的原则，分专业组织流水施工。先主体后装修，水电安装工程随施工条件的具备情况插入施工。施工过程中，装修工程随主体进度安排插入施工。管线、设备安装、电气仪表等配套工程，配合土建施工协调进行。

1）施工阶段划分

根据各阶段的施工特点制定阶段节点目标，充分考虑各工序主要工种人力、工程材料和施工材料、关键机械设备的流水节拍和施工的均衡性，分析各方面的技术难点，提出实施目标的办法和途径。根据现场地质条件及施工方法的不同，结合工程设计图纸，将本工程按进度划分为四个阶段。

（1）第一阶段：施工准备阶段。调集人、材、物等施工力量，进行平面布置、图纸会审，办理开工有关手续，开展技术、质量交底工作，目标是充分做好开工前的各项准备，以满足开工要求。

（2）第二阶段：挖土方、基础结构施工阶段。

（3）第三阶段：上部结构施工阶段，在本阶段内适时插入安装工程，该阶段为工程的高峰期。

（4）第四阶段：装饰、安装阶段。该阶段前半部分以装饰为主，安装跟进，后半部分转换为以安装为主，装饰配合，其他各专业也全面展开。此阶段为工程竣工的关键阶段，是文明施工和安全生产较难控制的阶段，重点是做好各方的协调工作，特别是垂直运输设备的使用协调。

2）“七通一平”规划

七通一平：通给水、通排水、通电、通信、通路、通燃气、通热力，场地平整。

（1）临时用水用电接驳点由业主接至施工现场，再按施工总平面布置图进行临电临水的安装，现场布设排水沟和沉淀池。

（2）临时设施布置合理，生活区、生产区分离。

（3）按照施工总平面布置图的安排，尽量布设环形施工道路，地基碾压密实，面层做20cm厚C25混凝土，道路表面向排水沟找坡。

（4）为保证信息的及时沟通，项目部每个管理人员配备手机，项目部安装传真机、ADSL宽带网，施工现场内建立局域网，保证信息联络畅通。

3）工程重点及难点分析

（1）工期较紧，对各分部工程施工的合理安排、时间的搭接和穿插是本工程重点。

（2）工地现场狭窄，楼层高，材料、机械等的平面布置显得尤其重要，是工程的难点。

（3）××市四季分明，天气变化明显，工程跨冬季和雨季，且时间较长，与天气赛跑，是本工程的重要控制点。

（4）本工程业主另行招标确定专业分包的内容较多，涉及专业分包的内容包括机电安装、电梯供应与安装、场区绿化，总包项目经理部如何统一协调、统一指挥、统一管理好各专业分包，是本工程的又一重点。

（5）本工程外围边框线变化大、不规整、极其复杂，如何控制好轴线保证外边框、做好分块的控制点，是本工程施工的难点之一。

（6）施工投入的人员较多，人员的素质及技术水平不一，应特别加强对人员的HSE［即健康（Health）、安全（Safety）和环境（Environment）］管理及质量控制。

（7）减少扰民噪声、降低环境污染、对地下管线及其他设施的保护加固同样重要。

4）新技术应用

本工程拟采用如下多种较新的施工技术措施和施工方法。

（1）清水混凝土模板施工技术。
（2）高强钢筋应用技术。
（3）预拌砂浆技术。
（4）型钢悬挑脚手架施工技术。
（5）混凝土裂缝控制技术。
（6）管线综合布置技术。
（7）高精度自动测量技术。
（8）工程量自动计算技术。
（9）项目各方协同管理信息化技术。

第五章　施工准备

1. 施工准备工作计划

施工准备是整个施工生产的前提，根据本工程的工程内容和实际情况，公司与项目部共同制订施工准备工作计划，为工程顺利进展打下良好基础。由于本工程现场狭窄、楼层高、工期紧，因此施工准备工作必须细致、认真地进行，否则可能造成人力、物力的浪费及耽误工程进度。具体的施工准备工作计划见附表18。

附表18　施工准备工作计划

序号	施工准备工作内容	负责单位	涉及单位	要求完成时间
1	施工组织设计编制	项目部	公司、监理、业主	2009.1.10
2	建立施工组织机构	公司	项目部	2008.12.15
3	现场定位放线	项目部	监理单位、业主	2008.12.20
4	现场平面布置设计	项目部	项目部	2008.12.20
5	主要材料计划	项目部	公司	2008.12.30
6	构配件加工计划	项目部	公司	2009.1.15
7	大型机具计划	项目部	公司	按需用进场
8	劳动力计划	项目部	公司	分阶段
9	专项施工方案编制及审核	项目部	公司、监理、业主	分阶段
10	编制施工预算	项目部	公司	分阶段
11	图纸会审	业主	公司、项目部、监理	2009.1.5

以上各项准备工作可分为施工技术准备、材料设备准备、劳动力准备、现场施工准备等几个部分。

2. 施工技术准备

1）做好调查工作

（1）气象、地形和水文地质的调查。

① 认真做好调查工作，对地质情况、水文情况、地下管线情况都必须有较为详细的了解，为顺利组织全过程均衡施工创造条件。

② 由于本工程所在地区雨水多，可能对施工带来十分不利的影响，所以必须制定必要的泄洪、排水措施。

(2) 各种物质资源和技术条件的调查。

① 由于施工所需物质资源品种多、数量大，故应对各种物质资源的生产和供应情况、价格、品种等进行详细调查，以便及早进行供需联系，落实供需要求。

② 对水源、电源的供应情况应做详细调查，包括给水的水源、水量、压力、接管地点，供电的能力、线路距离等。

2) 做好图纸会审工作

组织各专业人员熟悉图纸，对图纸进行自审，熟悉和掌握施工图纸的全部内容和设计意图。土建、安装各专业相互联系对照，发现问题提前与建设单位、设计单位协商，参加由建设单位、监理单位和设计单位组织的设计交底和图纸综合会审。

3) 认真编制施工组织设计

(1) 开工前，根据工程特点，认真编制施工组织设计和施工方案清单，明确时间和责任人。施工组织设计和施工方案在定稿前都要召开专题讨论会，充分参考有关部门和作业班组的意见。每个方案的实施都要通过方案提出→讨论→编制→审核→修改→定稿→交底→实施几个步骤进行。作为工程施工生产的指导性文件，方案一旦确定就不得随意更改。专项施工方案编制计划见附表19。

附表19　专项施工方案编制计划

序号	计划名称	责任部门	截止日期	审批单位
1	测量施工方案	技术管理部	2009.1.5	项目技术负责人
2	钢筋施工方案	技术管理部	2009.1.5	项目技术负责人
3	模板施工方案	技术管理部	2009.1.5	公司总工程师
4	脚手架施工方案	技术管理部	2009.1.5	公司总工程师
5	内装饰施工方案	技术管理部	2009.7.1	项目技术负责人
6	外墙装饰方案	技术管理部	2009.7.1	项目技术负责人
7	水电安装施工组织设计	机电管理部	2009.1.5	项目技术负责人
8	冬季施工方案	技术管理部	2009.1.5	项目技术负责人
9	人货电梯施工方案	技术管理部	2009.4.10	公司总工程师
10	临时施工用电、用水方案	机电管理部	2009.1.5	公司总工程师
11	安全施工方案	安全管理部	2009.1.5	公司总工程师
12	门窗安装方案	技术管理部	2009.7.15	项目技术负责人
13	塔式起重机安装拆除方案	技术管理部	2009.1.10	公司总工程师
14	计量与试验方案	技术管理部	2009.1.5	项目技术负责人

(2) 施工中有了完备的施工组织设计和可行的施工方案，以及可操作性强的技术交底，就要严格按方案施工，从而保证全部工程整体部署有条不紊，施工现场整洁规矩，机械配备合理，人员编制有序，施工流水不乱，分部分项工程施工方案科学合理，施工操作严格执行规范、标准的要求，从而保证工程的质量和进度。

4） 编制施工预算

根据施工图纸计算分部分项工程量，按规定套用施工定额，计算所需材料的详细数量、人员的工种和数量、大型机械台班数，以便做出详尽的进度计划和供应计划，更好地控制成本，减少消耗。

5） 做好技术交底工作

本工程每一道工序开工前，均需进行技术交底。技术交底各专业均采用三级制，即项目部技术负责人→责任工程师（工长）→劳务分包商（班组长）→工人。技术交底均有书面文字及图表，逐级交底签字，工程技术负责人向专业工长进行交底要求细致、齐全、完善，并要结合具体操作部位和关键部位的质量要求、操作要点及注意事项等进行详细的讲述交底，工长接受后，应反复详细地向作业班组进行交底，班组长在接受交底后，应组织工人进行认真讨论，全面理解施工意图，确保工程的质量和进度。

3. 材料设备准备

施工所需的材料、构配件、施工机械品种多、数量大，保证按计划供应对整个施工过程举足轻重，会直接影响工期、质量和成本。

1） 材料准备

（1） 根据施工进度计划和施工预算的工料分析，拟定加工及订货计划。

（2） 建筑材料及安全防护用品准备，应根据实际情况编制各项材料计划表，分批进场。

（3） 对各种材料的入库、保管和出库制订完善的管理办法，同时加强防火、防盗的管理。

2） 施工机械设备准备

工程开工时，应及时做好施工机械设备投入计划，分批组织进场。工程施工机械设备的准备见附表20。

附表20 工程施工机械设备的准备

序号	机械或设备名称	型号规格	数量	国别产地	制造年份	额定功率/kW	生产能力	备 注
1	全站仪		1	国产	2007			轴线测量
2	激光经纬仪	J2	1	国产	2007			轴线测量
3	水平仪	S3	2	国产	2008			标高传递沉降观测
4	计算机		6	国产	2006			施工管理
5	塔式起重机	QTZ63(5013)	2	国产	2004	60		垂直运输
6	施工外用电梯	SCD200/J	2	上海	2004	30	60m	垂直运输
7	潜水泵	ϕ30	4	国产	2004			排水
8	加压水泵	ϕ50	2	国产	2006		120m	给水
9	自卸汽车	5m^3	2	国产	2004			土方回填
10	潜水泵		4	国产	2004	2.2		基础工程

续表

序号	机械或设备名称	型号规格	数量	国别产地	制造年份	额定功率/kW	生产能力	备注
11	打夯机		2	国产	2004			土方回填
12	搅拌机	JK－500	1	国产	2005	15	0.5m^3	砌体、装饰
13	混凝土输送泵	HBT80	1	国产	2004	55	50m^3/h	混凝土工程
14	交流电焊机	BX3－630	2	国产	2004	23.4		普通焊接
15	电渣压力焊设备	ENS	2	国产	2004	20		钢筋连接
16	对焊机	VN1－100	1	国产	2004	100		钢筋连接
17	钢筋调直机		1	国产	2004	7.5		钢筋加工
18	钢筋弯曲机	GW40mm	2	国产	2004	3		钢筋加工
19	钢筋切断机	GQ40－2	1	国产	2004	7.5		钢筋加工
20	圆盘机	MJ109	1	国产	2004	3		模板工程
21	平刨机	MB540	2	国产	2004	5		模板工程
22	压刨机	MB104	2	国产	2004	4		模板工程
23	插入式振动器	50	3	国产	2006	2.2		环保型
24	平板振动器	MC	2	国产	2004	2.5		环保型
25	手提切割机		3	国产	2006			环保型
26	对讲机		6	国产	2006			现场指挥
27	电缆敷设支架、轴		2	国产	2006			安装工程
28	电缆滚轮、转向导轮		2	国产	2006			安装工程
29	液压煨管器		2	国产	2004			安装工程
30	液压开孔器		2	国产	2004			安装工程
31	千斤顶	5t液压式	3	国产	2004			安装工程
32	千斤顶	10t液压式	1	国产	2004			安装工程
33	接地电阻测试仪	ZC－81－10－1000	2	国产	2004			安装工程
34	兆欧表	2C25－4，500V，500MΩ	2	国产	2004			安装工程
35	钳型电流表	6266型	2	国产	2004			安装工程
36	绝缘摇表	500V	2	国产	2004			安装工程

4. 劳动力准备

项目部在劳动力选择时，除劳务单位必须具备《营业执照》《资质等级》外，重点应对下列各项进行选择。

（1）劳务单位的信誉、人员配套情况及近阶段的实际表现。

（2）劳务单位的技术素质、施工能力和施工质量能否满足需要。

（3）劳务单位以往完成的施工对象和合同履行能力表现。

5. 现场施工准备

1）施工现场测量控制网点

项目部进场后，会同有关单位做好现场的移交工作，包括测量控制点及有关技术资料，并复核控制点。根据给定的控制点测设现场内的永久性标桩，并做好保护，作为工程测量的依据。

2）现场场地准备

(1）施工现场平整与硬化。视业主移交现场情况进行清理平整，现场道路、操作棚地面用混凝土硬化，其余场地用水泥砂浆或混凝土硬化，地面排水坡度为0.15％。

(2）施工道路。尽量布置成环形道路，道路宽4m，上铺20cm厚C20混凝土。

(3）现场排水。现场修建排水沟、截水沟、沉淀池，保证场区内排水顺畅。

第六章　主要施工方案

1. 土方工程

1）土方开挖

(1）工艺流程。

高程、轴线引测→放基坑开挖灰线→分层分段挖土→清槽。

(2）高程、轴线引测。

① 高程引测。根据建设单位给定高程，用全站仪引测至施工现场原有建筑物或构筑物上，以红油漆标示▼符号，其线上标注＋0.00m，引测完成后予以保护。再以现场施工水准点为准，对本工程标高进行控制和传递。

② 轴线引测。根据建设方提供的坐标点，由专业测量人员进行测量，用全站仪测设出本工程的主要控制轴线，作为测量的控制网。每一条控制轴线在坑外地面用木桩定位，并用混凝土保护好，然后对控制轴线进行复测、闭合，闭合精度应在规范允许范围之内方可使用，最后用J2经纬仪测设出其他各轴线和承台，并做好定位桩，所有轴线测设完毕后，测量人员对测量成果进行复核并做好记录。

(3）土方开挖注意事项。

① 施工机械选择：本工程的基坑开挖选用国产反铲挖掘机一台，配4台东风渣土汽车外运土方。

② 施工顺序：由西向东分层开挖，分层厚度1.5m，由于土质较好，可以在东向预留坡道供渣土车进出运土，待机械开挖到位后退回来将东向坡道处开挖至设计标高。机械挖土挖至设计标高以上15cm处，以下采用人工开挖。

③ 开挖中应边开挖边测量，严格控制标高，严禁超挖，以免机械扰动基底原土。开始挖土到基底时应将标高引测至槽底，边挖土边复核坑底开挖尺寸及标高，按每个承台基底标高控制。

④ 将开挖土方运至指定堆土场。

⑤ 基底边线应与挖土同步测放至基坑，根据灰线随时调整挖土部位，以保证基坑几何尺寸。

⑥ 采用反铲挖掘机开挖时，挖土过程中应注意检查坑底是否有古墓、洞穴、暗沟或裂缝，如发现迹象应立即停止，并进行探察处理。为防止坑底扰动，基坑挖好后应尽量减

少暴露时间，及时进行下一道工序的施工。

⑦ 基坑开挖至设计标高后，及时通知勘察和设计单位、监理单位、建设单位、监督单位及公司技术管理部门共同参加验槽，合格后方可进行基础施工。

2）土方回填

（1）施工准备。

① 宜优先利用原土回填，使用前应过筛，其粒径不大于 50mm，含水率应符合要求。

② 回填前基础应进行检查验收并达到合格。

③ 填土前应做好水平高程测量。

④ 施工机具选用打夯机、手推车、筛子、铁锹、木耙等。

（2）施工工艺。

① 工艺流程：坑底清理→检验土质→分层铺土→夯压密实→检验密实度→修整找平验收。

② 回填时间：在基础完工并验收合格后方可进行回填。

③ 回填要求：选择符合设计要求的土料，严格控制含水率。

④ 回填方法：在基础混凝土强度达到 80%后，沿建筑物四周对称回填，分层压实，每层厚度不超过 300mm。

⑤ 压实方法：先对填土初步整平，再采用打夯机依次夯打，均匀分布，不留间隙。每层均仔细夯实，对每层回填土采用环刀取样，检验填土压实后的干密度、压实系数等，应符合设计要求。

（3）质量标准。

① 基底处理必须符合设计要求和施工规范规定。

② 回填土料必须符合设计要求和施工规范规定。

③ 回填土必须分层夯实。

④ 顶面标高允许偏差为－50～0mm，表面平整度 20mm。

⑤ 回填土分层铺摊和夯实。使用强力打夯机夯实，每层虚铺土厚度为 300mm。每层填土压实后都应做干密度试验，用环刀法取样，基坑每 20～50m 间距取样一组（每个基坑不少于一组）；基槽或管沟填土按长度 20～50m 取样一组；室内填土按 100～500m^2 取样一组。

⑥ 基坑回填由最深处开始。

⑦ 回填完毕后用素混凝土进行封闭。

（4）安全技术措施。

① 操作人员应戴安全帽。

② 回填时对已拆除的护栏危险地段设置明显警示标志。

③ 对打夯机做漏电保护措施。

④ 对回填土进行压实，防止因虚土而造成人、机等下陷。

2. 人工挖孔桩

1）施工流程

场地整平→放线、定桩位→挖第一节桩孔土方→支模浇灌第一节混凝土护壁→在护壁上二次投测标高及桩位十字轴线→设置垂直运输架，安装电动葫芦（或卷扬机）、吊土桶，

根据现场实际情况安装潜水泵、鼓风机、照明设施等→第二节桩身挖土→清理桩孔四壁、校核桩孔垂直度和直径→拆上节模板、支第二节模板、浇灌第二节混凝土护壁→以下各节重复挖土、支模、浇灌混凝土护壁等工序，循环作业直至设计深度→检查持力层后进行扩底、清孔→对桩孔直径、深度、扩底尺寸、持力层进行全面检查验收→吊放钢筋笼就位→清理虚土、排除孔底积水→浇灌桩身混凝土。

2）施工方法

(1) 挖孔方法。

① 当桩净距小于2倍桩径且小于2.5m时，应采用间隔开挖。排桩跳挖的最小施工净距不得小于4.5m。

② 挖土由人工从上到下逐层用镐、锹进行，遇坚硬土层用锤、钎破碎，挖土次序为先挖中间部分后挖周边，按设计桩直径加2倍护壁厚度控制截面，允许尺寸误差3cm。每节的高度根据土质好坏、操作条件而定，一般以0.5～1.0m为宜。扩底部分采取先挖桩身圆柱体，再按扩底尺寸从上到下削土修成扩底形。弃土装入活底吊桶或箩筐内，在孔上口安支架、工字轨道、电动葫芦，用1～2t慢速卷扬机提升，吊至地面上后用机动翻斗车或手推车运出。

逐层往下循环作业，将桩孔挖至设计深度，清除虚土，检查土质情况，桩底应支承在设计所规定的持力层上。

(2) 护壁施工。

① 护壁施工采取一节组合式钢模板由两块拼装而成，拆上节，支下节，循环周转使用。模板间用U形卡或螺栓连接，不另设支撑，以便浇灌混凝土和下一节挖土操作。混凝土用人工或机械拌制，用吊桶运输，人工浇筑。

② 第一节井圈护壁应符合下列规定：a. 井圈中心线与设计轴线的偏差不得大于20mm；b. 井圈顶面应比场地高出150～200mm，壁厚比下面井壁厚度增加100～150mm。

③井圈护壁应遵守下列规定：护壁的厚度、拉结钢筋、配筋、混凝土强度均应符合设计要求；上下节护壁的搭接长度不得小于50mm；每节护壁均应在当日连续施工完毕；护壁模板的拆除宜在24h之后进行；灌注护壁混凝土时，可敲击模板或用竹竿、木棒反复插捣；不得在桩孔水淹没模板的情况下灌注护壁混凝土。

(3) 钢筋笼制作。为防止钢筋笼吊放时扭曲变形，一般在主筋内侧每隔2m加设一道直径16mm的加强箍，每隔一箍在箍内设一井字加强支撑，与主筋焊接牢固组成骨架。主筋在现场对焊连接。大直径螺旋形箍筋和加强箍的加工成形，可采取在常用弯曲机的顶盘上加一个直径同箍筋的圆盘以插销连接，在不改变传动机构的情况下进行弯曲成型，每根螺旋箍筋四圈。长度大（15m以上）的钢筋笼，为便于吊运，一般分两节制作。钢筋笼组装通常在桩基工程附近地面平卧进行，方法是在地面设两排轻轨，先将加强箍间距排列在轻轨上，按划线逐根放上主筋并与之点焊连接，控制平整度误差不大于50mm，上下节主筋接头错开50%，螺旋箍筋每隔1～1.5箍与主筋按梅花形用电弧焊点焊固定。在钢筋笼四侧主筋上每隔5m设置一个ϕ20耳环作定位垫块之用，使保护层保持5cm；钢筋笼外形尺寸要严格控制，比孔小11～12cm。

(4) 钢筋笼就位。钢筋笼采用现场加工，材料质量及制作成型必须符合设计及规范要求。

采用塔式起重机吊运钢筋笼。钢筋笼放入前应先绑好砂浆垫块，按设计要求厚度一般为 70mm（钢筋笼四周，在主筋上每隔 3～4m 设一个 ϕ20 耳环，作为定位垫块）；吊放钢筋笼时，要对准孔位，直吊扶稳、缓慢下沉，避免碰撞孔壁。钢筋笼放到设计位置时，应立即固定。遇有两段钢筋笼连接时，应采用焊接（搭接焊或帮条焊）方法双面焊接，接头数按 50%错开，以确保钢筋位置正确，保护层厚度符合要求。

（5）混凝土灌筑。挖孔桩灌筑混凝土前，应先放置钢筋笼，并再次测量孔内虚土厚度，超过要求应进行清理。混凝土采用商品混凝土，采用高压输送泵泵送。混凝土应连续分层浇灌、分层捣实，每层浇灌高度不得超过 1.5m。第一次浇灌到扩底部位的顶面，随即振捣密实，再分层浇筑桩身，直至桩顶。在混凝土初凝前抹压平整，避免出现塑性收缩裂缝或环向干缩裂缝。表面有浮浆层应凿除，以保证与上部承台或底板的良好连接。

混凝土应边灌注边插实，宜采用插入式振动器和人工捣实相结合的方法，以保证混凝土的密实度。灌注桩身混凝土时应留置试块，每根桩不得少于一组。

（6）混凝土水下浇筑。采用导管法水下浇筑混凝土。采用混凝土汽车泵浇捣，利用汽车泵布料杆及导管可直接将混凝土送到桩底，同时配备足够的混凝土搅拌输送车使混凝土不间断地得到供应。导管口预先塞隔水塞，并用 8 号铁丝固定在导管口，开始浇筑混凝土后，剪断铁丝，隔水塞下落埋入底部混凝土中。在整个浇筑过程中，导管应埋入混凝土中 3m 左右，最小不少于 1.5m。导管随浇筑随提升，避免提升过快造成混凝土脱空现象，或提升过慢造成埋管事故。汽车泵料斗内初存的混凝土量要计算确定，以保证完全排出导管内泥浆，防止泥浆卷入混凝土内。导管内首批混凝土量 V 按下式计算。

$$V=h_1\times 3.14d^2/4+H_C A$$

式中 d——导管直径（m）；

H_C——首批混凝土要求浇筑的深度（m），$H_C=H_D+H_E$；

H_D——管底至槽底的高度，取 0.4～0.5m；

H_E——导管的埋设深度；

A——浇筑槽段的平均横截面面积（m^2）；

h_1——槽段内混凝土达到 H_C时，导管内混凝土柱与导管外水压平衡所需高度（m）。

具体数值待实际情况而确定，暂不计算。

3）常见质量问题的产生原因及预防措施

（1）垂直偏差过大。由于开挖过程未按要求每节核验垂直度，致使挖完以后垂直度超偏。每挖完一节，必须根据桩孔口上的轴线吊直、修边，使孔壁圆弧保持上下顺直。

（2）孔壁坍塌。因桩位土质不好，或地下水渗出而使孔壁坍塌。开挖前应掌握现场土质情况，必要时可在坍孔处用砌砖、钢板桩、木板桩封堵；操作过程要紧凑，不留间隔空隙，避免坍孔。

（3）孔底残留虚土太多。成孔、修边以后有较多虚土、碎砖，未认真清除。在放钢筋笼前后均应认真检查孔底，清除虚土杂物，必要时用水泥砂浆或混凝土封底。

（4）孔底出现积水。若地下水渗出较快或雨水流入，抽排水不及时，就会出现积水。开挖过程中孔底要挖集水坑，及时下泵抽水。如有少量积水，浇筑混凝土时可在首盘采用半干硬性的混凝土；在有大量积水，一时又排除困难的情况下，则应用导管水下浇筑混凝土的方法，确保施工质量。

(5) 桩身混凝土质量差,有缩颈、空洞、夹土等现象。在浇筑混凝土前一定要做好操作技术交底,坚持分层浇筑、分层振捣、连续作业,必要时用铁管、竹竿、钢筋钎人工辅助插捣,以补充机械振捣的不足。

(6) 钢筋笼扭曲变形。钢筋笼加工制作时点焊不牢,未支撑加强钢筋,运输、吊放时产生扭曲、变形。钢筋笼应在专用平台上加工,主筋与箍筋点焊牢固,支撑加固措施要可靠,吊运要竖直,使其平稳地放入桩孔中,保持骨架完好。

4) 安全措施

(1) 开挖前,施工单位应邀请设计、建设单位讨论会审挖桩次序和平面布置,完善施工安全防护措施,制定孔渣和废水的处理方案。

(2) 施工负责人必须逐孔全面检查各项施工准备,做好安全技术交底,使安全管理在思想、组织、措施上都得到落实才通知开挖。

(3) 桩孔开挖过程中,必须有专人巡视各开挖桩孔的施工情况,严格做好安全监护。孔内有人时,孔上必须有人监督防护,井孔周边作业人员、监督人员必须戴安全帽,严禁穿拖鞋、赤脚、酒后上岗作业,井孔内外设置对讲机,便于上下通信联系。

(4) 桩孔开挖应交错进行。桩孔成型后即应验收、浇筑桩心混凝土。正在浇筑混凝土的孔,10m 半径内的其他桩孔下严禁有人作业。

(5) 下孔人员必须戴安全帽、系安全带,安全带扣绳由孔上人员负责随作业面往下伸长,孔内必须设置应急软爬梯,供人员上下,使用的电动葫芦、吊笼等安全可靠并配有自动卡紧保险装置,使用前必须检查其安全起吊能力。

(6) 挖孔人员应是 18~35 岁的男性青年,并经健康检查和井下、高空、用电、简单机械和吊装等安全培训考核。每孔作业人员应不少于 3 人。作业人员应自觉遵章守纪,严格按规定作业。

(7) 挖孔、起吊、护壁、余渣运输等所使用的一切设备、设施、安全装置(含防毒面具)、工具、配件、材料和个人劳动防护用品等,必须经常检查,做好管、用、养、修、换,确保完好率和使用安全度。

(8) 每次下孔作业前必须检查井下的有毒有害气体,一般宜用仪器检测,也可用简易办法,如在鸟笼内放置鸽子,吊放至桩孔底,放置时间不得少于 10min,经检查鸽子神态正常,方可下孔作业,并应有足够的安全防护措施。桩孔开挖深度超过 10m 时,应有专门向下通风的设备,风量不宜小于 25L/s,每班作业前必须强制性预先送风 10min 以上。必要时输送氧气,防止有毒气体危害。作业过程中必须保证持续通风,为防供电不正常等突发情况,确保通风和连续性生产,挖桩施工必须有备用应急柴油发电机。

(9) 孔下作业必须在交接班前或终止当天当班作业时,用手钻或不小于 ϕ16 钢钎对孔下不少于 3 点进行品字钎探。正常作业时,应每挖深 50cm 左右就对孔下做一次钎勘,确定无异常时,才继续下挖;发现异常,应即时报告。

(10) 桩孔必须每挖深 0.5~1.0m 就护壁一次,严禁只下挖不及时护壁的冒险做法。第一节护壁要高出孔口 200mm 做孔口周围安全踢脚拦板,护壁拆模须经施工技术人员签证同意。

(11) 孔井周围必须设不低于 1.2m 高的安全护栏和盖孔口板,护栏必须采用钢管脚手架制作。

（12）工作人员上下桩孔所使用的电动葫芦、吊笼必须是合格的机械设备，同时应配备自动卡紧保险装置，以防突然停电。不得用人工拉绳子运送工作人员或脚踏井壁凸缘上下桩孔。电动葫芦宜用按钮式开关，上班前、下班后均应专人严格检查并且每天加足润滑油，保证开关灵活、准确，铁链无损、有保险扣且不打死结，钢丝绳无断丝。支承架应加固稳定，使用前必须检查其安全起吊能力。桩孔内必须放爬梯或设置尼龙绳，并随挖孔深度增加放长至工作面，作救急之备用。

（13）桩孔开挖后，现场人员应注意观察地面和周围建（构）筑物的变化。桩孔如靠近旧建筑物或危房时，必须对旧建筑物或危房采取加固措施后才能施工。

（14）挖出的土石方应及时运走，孔口四周2m范围内不得堆放余泥杂物。

（15）挖孔抽水时，须在作业人员上地面后进行，抽水后检查已断开电源才准下孔。

（16）挖孔桩的设计资料和施工方案必须报工程所在地工程质量监督站和安全监督部门备查。

3. 混凝土工程

1）施工流程

基本流程为：钢筋、模板、预埋件验收→作业准备→混凝土搅拌、运输→混凝土浇筑与振捣→混凝土表面找平压实→混凝土养护。

梁、柱接头节点部位，因混凝土等级不一致，应先浇筑强度高的混凝土，然后再浇强度低的混凝土。

混凝土浇筑前，办理好有关部位的隐蔽工程验收和混凝土浇灌令。如果混凝土浇灌量大，必须昼夜连续施工时，还要预先办理夜间施工许可证。混凝土振捣操作人员，由经过专业技术培训的工作人员操作，现场混凝土浇筑指挥由工长或技术人员负责。混凝土浇筑施工随时掌握供料和浇筑状况，确保混凝土浇筑的连续性。浇筑混凝土期间，加强气象监测，及时预报天气状况，防止大雨、暴雨、暴晒等天气对混凝土质量的影响。当有必要时，应采取措施防止恶劣天气对混凝土施工的影响，以确保混凝土质量。

2）混凝土浇捣要求

（1）对预拌混凝土厂家及有关施工人员进行书面技术交底，技术交底中应包括混凝土每小时供应数量、缓凝时间、泵送速度、分层分块浇筑示意图及分块厚度、泵车布局、施工现场混凝土搅拌车行走路线等。

（2）混凝土入场后应及时检测其坍落度，不符合要求时应退回或由搅拌站进行二次搅拌。现场对每车混凝土的出站时间、入场时间、开始浇筑及持续时间等各时间段进行登记，超出要求时间的混凝土不得使用。

（3）浇筑混凝土时应分段分层连续进行，浇筑层高度应根据混凝土供应能力、一次浇筑量、混凝土初凝时间、结构特点、钢筋疏密综合考虑确定，一般为振捣器作用部分长度的1.25倍。混凝土分块大小及分层厚度以混凝土供应速度及混凝土各浇筑块、浇筑层均不出现施工冷缝为原则。

（4）混凝土自泵管口下落的自由倾落高度不得超过2m（竖向构件为3m），若超过2m（或3m）应加软管或串筒下料，防止混凝土离析。

（5）使用插入式振捣器应快插慢拔，插点要均匀排列，逐点移动，顺序进行，不得遗漏，做到均匀振实。移动间距不大于振捣棒作用半径的1.5倍（一般为300～400mm）。振捣上一层

时应插入下层5～10cm，以使两层混凝土结合牢固。振捣时，振捣棒不得触及钢筋和模板。表面振动器（平板振动器）的移动间距，应保证振动器的平板覆盖已振实部分的边缘。

（6）浇筑混凝土应连续进行。如必须间歇，其间歇时间应尽量缩短（故意拉开前后层浇捣时间，减少结构沉陷收缩的除外），并应在前层混凝土初凝之前，将次层混凝土浇筑完毕。间歇的最长时间应按凝结时间确定，超过初凝时间应按施工缝处理。

（7）混凝土浇筑完毕，表面泌水已处理，经刮杠刮平后即可用木抹搓平，二次振捣用平板振捣器或振捣棒滚动振捣，表面用木抹子压实。当混凝土表面用手按有明显印痕但下沉量不大时，即可进行二次搓毛压实。二次抹压时不可在混凝土表面洒水进行，而应将混凝土内部浆液挤压出来，用于表面混凝土湿润抹压。

（8）浇筑混凝土时应派专人观察模板、钢筋、预留孔洞、预埋件和插筋等有无移动、变形或堵塞情况，发现问题应立即处理，并应在已浇筑的混凝土初凝前修整完好。

（9）混凝土浇筑应避开雨天施工，若突遇降雨应用塑料薄膜及时覆盖进行保护。雨期施工前应准备足够的防护材料，防止新浇筑混凝土遭受雨淋。

（10）泵送混凝土开始压送时速度宜慢，待混凝土送出管子端部时，速度可逐渐加快，并转入正常速度进行泵送。压送要连续进行，不应停顿，遇到运转不正常时，可放慢泵送速度。若混凝土供应不及时，需降低泵送速度。当泵送暂时中断供料时，应每隔5～10min利用泵机进行抽吸往复推动2～3次，以防堵管。混凝土因故间歇30min以上者，应排净管路内留存的混凝土，以防堵塞。

（11）后浇带混凝土浇筑。

① 后浇带使用钢板网进行支挡，在支模时，应对先浇混凝土凿毛清洗。在混凝土浇筑之前应清除杂物并进行湿润，并应刷与混凝土成分相同的水泥砂浆。

② 后浇带新旧混凝土接槎部位采用设置企口的防水措施。

③ 施工后浇带使用补偿收缩混凝土填灌密实，并加强养护，防止新老混凝土之间出现裂缝。

3）混凝土养护

混凝土表面泌水和浮浆应排除，待表面无积水时，宜进行二次压实抹光。泵送混凝土一般掺有缓凝剂，宜在混凝土终凝后才浇水养护，并应加强早期养护。

为了保证新浇的混凝土有适宜的硬化条件，防止早期由于干缩产生裂缩，混凝土浇筑完12h后应覆盖洒水养护；视气温变化情况每间隔一定时间浇水养护，养护次数以混凝土表面保持湿润为准。基础承台部分必须覆盖麻袋。普通混凝土的养护时间不得少于7天；防水混凝土的养护时间不得少于14天；后浇带混凝土的养护时间不得少于28天；掺外加剂的泵送混凝土的养护时间不少于14天。混凝土强度达到1.2N/mm^{2}前，不得在其上踩踏或安拆模板支撑。

4）混凝土试块取样与留置

混凝土试块应在混凝土浇筑地点随机取样。

（1）标准养护试块取样与留置原则。

① 每拌制100盘且不超过100m^{3}的同配合比的混凝土，取样不得少于一次。

② 每工作班拌制的同一配合比的混凝土不足100盘时，取样不得少于一次。

③ 当一次连续浇筑超过1000m^{3}时，同一配合比的混凝土每200m^{3}取样不得少于一次。

④ 每一楼层、同一配合比的混凝土，取样不得少于一次。

⑤ 每次取样应至少留置一组（一组为3个立方体试块）标准养护试块。

（2）同条件养护试块取样与留置原则。

① 结构实体同条件试块。

a. 同条件养护试件所对应的结构构件或结构部位，应由监理（建设）、施工单位等各方共同选定。

b. 根据既体现结构重要部位又适度控制实体检验数量的原则，重要部位建议如下：竖向构件中的墙、柱，水平构件中跨度大于或等于8m的梁、跨度大于或等于5m的单向板、跨度大于或等于6m的双向板、跨度大于或等于2m的悬挑梁板，若有工程不满足上述条件，则应按规范“同一强度等级的同条件养护试件不宜少于3组”，项目在具体实施中可以此为依据与监理协商确定。

② 拆模同条件试块（判定混凝土是否达到设计要求或规范要求的拆模强度），按每一施工流水段至少留置一组同条件试块。

（3）防水混凝土试块取样与留置原则。

① 防水混凝土的标养、同条件养护试块取样与留置原则同前述相关条款。

② 抗渗试块取样与留置原则（依据GB 50208—2011）：连续浇筑混凝土每500m^3应留置一组抗渗试块（一组为6个抗渗试块），且每项工程不得少于两组。配合比调整时，应相应增加试块的留置组数。

4. 钢筋工程

1）钢筋加工

（1）配筋工作由土建分包单位专职配筋人员严格按照国家、地方及行业的规范和设计要求执行。结构中所有大于200mm的洞口，按照洞口配筋全部留置出来，不允许出现现场割筋留洞的现象。

（2）加工工艺：钢筋除锈、除污→钢筋调直→钢筋切断→钢筋成型。

① 钢筋除锈可采用手工钢丝刷除锈。

② 一级钢的调直冷拉率不大于4%，钢筋调直后应平直，且无局部曲折。

③ 钢筋切断时，应根据不同长度搭配，统筹安排，一般先断长料，后断短料，减少耗损，切断时避免用短尺量长料，防止产生累积误差。因此应在工作台上标出尺寸刻度线，并设置控制断料尺寸用的挡板。在切割过程中如发现钢筋有劈裂、缩头或严重的弯头等，必须切除。钢筋的断口不得有马蹄形或起弯等现象，长度允许偏差为±10mm。

④ 钢筋弯曲前，应计算好起弯点的位置，在钢筋上画好线，以进行准确的弯曲成型。钢筋弯曲成型后，弯曲点处不得有裂缝，二级钢不得反复弯折，钢筋成型后的允许偏差全长为±10mm。

⑤ 箍筋制作时，按抗震要求，其末端均要做成135°弯钩，平直段长度取［$10d$，750mm］二者中的最大值。箍筋为复合箍筋时，为制作和安装方便（当设计无要求时），内箍取统一尺寸，柱纵筋间距做适当调整，柱纵筋间距最大差值不得大于$4d$（d为箍筋直径）。

2）钢筋定位、间距、保护层控制

墙、柱在底板中的插筋定位措施：墙体的钢筋采用定距框，以保证墙、柱主筋间距位置准确。

墙、柱侧面钢筋保护层采用塑料卡具，墙体结构放在外侧的水平钢筋上，柱结构放在箍筋上。

底板、楼板、梁使用砂浆垫块，砂浆垫块可以根据钢筋规格做成凹槽，使垫块和钢筋牢固地连在一起，保证不偏位。

保护层厚度（一类环境）须满足以下条件。

（1）梁、柱中保护层厚度不得小于20mm。

（2）墙、板中保护层厚度不得小于15mm。

3）钢筋绑扎搭接质量标准

（1）根据设计图纸检查钢筋的钢号、直径、根数、间距是否正确，特别要注意检查负筋的位置。

（2）检查钢筋接头的位置及搭接长度是否符合规定。

（3）检查混凝土保护层厚度是否符合要求。

（4）检查钢筋绑扎是否牢固，有无松动、变形现象。

（5）钢筋表面不允许有油渍、漆污和颗粒状（片状）铁锈。

（6）钢筋位置的允许偏差，见附表21。

附表21　钢筋位置的允许偏差

项　　次	项　　目		允许偏差/mm
1	受力钢筋的排距		±5
2	钢筋弯起点的位置		20
3	箍筋、横向钢筋的间距	绑扎骨架	±20
		焊接骨架	±10
4	焊接预埋件	中心线位置	5
		水平高差	+3、−0
5	受力钢筋的保护层	基础	±10
		柱、梁	±5
		板、墙、壳	±3

5. 砌体工程

1）加气混凝土砌块砌体工程

（1）工艺流程。基础验收、墙体抄平放线→材料见证取样、配制砂浆→排砖撂底、墙体盘角→立杆、挂线、砌墙→验收、养护并转入下一循环。

（2）操作工艺。

① 墙体抄平放线：墙体施工前，应将基础顶面或楼层结构面按标高找平，依据图纸放出第一皮砌块的轴线、砌体的边线及门窗洞口位置线。

② 砌块提前2天进行浇水湿润，浇水时把砌块上的浮尘冲洗干净。

③ 根据砌体标高要求立好皮数杆，皮数杆立在砌体的转角处，纵向间距一般不应大于15m。

④ 配制砂浆：按设计要求的砂浆品种、强度等级进行砂浆配置，配合比应由试验室确定。采用质量比，水泥、石灰膏的计量精度为±2%，砂的计量精度控制在±5%以内；应采用机械搅拌，搅拌时间不少于2min。

⑤ 砌块的排列：应根据工程设计施工图纸，结合砌块的品种规格绘制砌体砌块的排列图，经审核无误后，按图进行排列。

⑥ 排列应从基础顶面或楼层面开始进行，排列时应尽量采用主规格的砌块，砌体中主规格砌块应占总量的80%以上。

⑦ 砌块排列上下皮应错缝搭砌，搭砌长度不得小于砌块长度的1/3，也不应小于150mm。

⑧ 外墙转角处及纵横墙交接处，应将砌块分皮咬槎，交错搭砌，砌体砌至门窗洞口边非整块时，应用同品种的砌块加工切割成，不得用其他砌块或砖镶砌。

⑨ 砌体水平灰缝厚度一般为15mm（如果为加网片筋的砌体，其水平灰缝的厚度为20～25mm），垂直灰缝的厚度为20mm，大于30mm的垂直灰缝应用C20级细石混凝土灌实。

⑩ 铺砂浆：将搅拌好的砂浆通过吊斗或手推车运至砌筑地点，在砌块就位前用大铁锹、灰勺进行分块铺灰，最大铺灰长度不得超过1500mm。

⑪ 竖缝灌砂浆：每砌一皮砌块就位后，应用砂浆灌实竖缝，随后进行灰缝的勒缝（原浆勾缝），深度一般为3～5mm。

2）黏土多孔砖砌块砌体工程

（1）组砌方法。一般采用一顺一丁、梅花丁或三顺一丁砌法。

（2）操作工艺。

① 抄平放线。

② 排砖撂底（摆干砖）：根据弹好的门窗洞口位置线，认真核对窗间墙、垛尺寸，看其长度是否符合排砖模数；当不符合模数时，七分头或丁砖应排在窗口中间、附墙垛或其他不明显的部位。

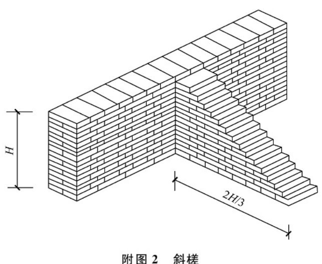
③ 选砖：砌清水墙应选择棱角整齐，无弯曲、裂纹，颜色均匀，规格基本一致的砖。敲击时声音响亮、焙烧过火变色、变形的砖可用在基础及不影响外观的内墙上。

④ 盘角：砌砖前应先盘角，每次盘角不要超过五层，新盘的大角及时进行吊、靠，如有偏差要及时修整。盘角时要仔细对照皮数杆的砖层和标高，控制好灰缝大小，使水平灰缝均匀一致。大角盘好后再复查一次，待平整度和垂直度完全符合要求后，再挂线砌墙。

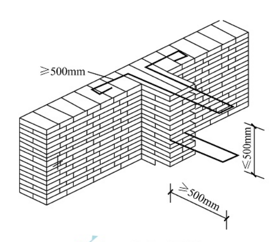
⑤ 挂线：砌筑一砖半墙必须双面挂线，如果长墙几个人均使用一根通线，中间应设几个支线点，小线要拉紧，每层砖都要穿线看平，使水平灰缝均匀一致、平直通顺；砌一砖厚混水墙时宜采用外手挂线，可照顾砖墙两面平整，为下道工序控制抹灰厚度奠定基础。

⑥ 砌砖：砌砖宜采用一铲灰、一块砖、一挤揉的“三一”砌砖法。砌砖一定要跟线，做到“上跟线，下跟棱，左右相邻要对平”。水平灰缝厚度和竖向灰缝宽度一般为10mm，但不应小于8mm，也不应大于12mm。砌筑砂浆应随拌随用，常温下水泥砂浆必须在3h内用完，水泥混合砂浆必须在4h内用完，不得使用过夜砂浆。

⑦ 留槎：外墙转角处应同时砌筑。内外墙交接处不能同时砌筑时，必须留斜槎，槎子长度不应小于墙体高度的2/3（附图2），槎子必须平直、通顺。隔墙与墙或柱不同时砌筑时，可留直槎（阳槎）加预埋拉结筋，沿墙高每50cm预埋$\phi6$钢筋2根，其埋入长度从墙的留槎处算起，一般每边均不小于50cm，末端应加90°弯钩（附图3）。施工洞口也应按以上要求留水平拉结筋。隔墙顶应用立砖斜砌挤紧。



附图 2　斜槎

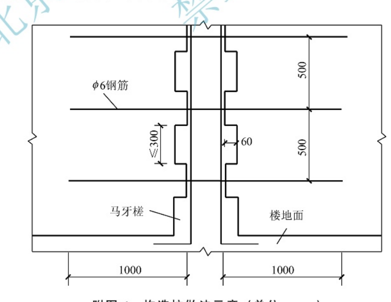


附图 3　直槎（阳槎）

⑧ 预埋木砖、墙体拉结筋：木砖预埋时应小头在外、大头在内，数量按洞口高度决定。洞口高在 1.2m 以内，每边放 2 块；高 1.2～2m，每边放 3 块；高 2～3m，每边放 4 块。预埋木砖的部位一般在洞口上边或下边四皮砖，中间均匀分布。木砖要提前做好防腐处理。墙体拉结筋的位置、规格、数量、间距均应按设计要求留置，不应错放、漏放。

⑨ 安装过梁、梁垫：安装过梁、梁垫时，其标高、位置及型号必须准确，坐浆饱满。如坐浆厚度超过 2cm，要用细石混凝土铺垫。过梁安装时，两端支承点的长度应一致。

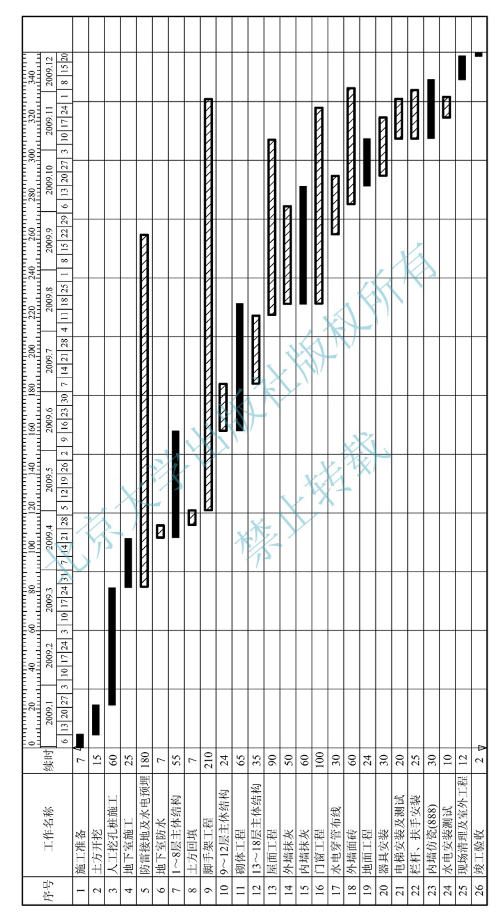
⑩ 构造柱做法：凡设有构造柱的工程，在砌砖前，应先根据设计图纸将构造柱位置进行弹线，并把构造柱插筋处理顺直。砌砖墙时，与构造柱连接处砌成马牙槎。每一个马牙槎沿高度方向的尺寸不宜超过 30cm（即五皮砖），马牙槎应先退后进。拉结筋按设计要求放置，设计无要求时，一般沿墙高 50cm 设置 2 根 ϕ6 水平拉结筋，每边深入墙内不应小于 1m。构造柱做法示意如附图 4 所示。



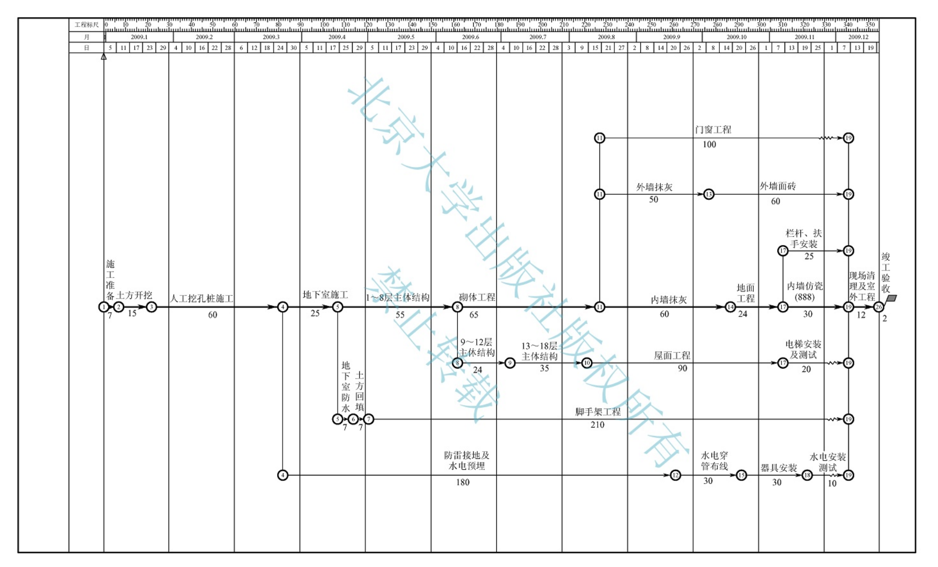
附图 4　构造柱做法示意（单位：mm）

第七章　施工进度计划

本工程总工期控制在 355 天内。某楼项目施工进度计划详见附图 5、附图 6。



附图5 某楼项目进度计划(横道图)(单位：天)



附图6 某楼项目进度计划(时标网络图)(单位：天)

第八章　施工平面布置图

1. 施工平面布置原则

施工平面布置原则见附表22。

附表22　施工平面布置原则

序号	内　　容
1	根据工程特点和现场周边环境的特征，充分利用现有施工场地，做好平面布置规划，满足生产、文明施工要求
2	做好现场平面布置和功能分区，对现有临建及管线进行调整
3	加强现场平面布置的分阶段调整，科学确定施工区域和场地平面布置，尽量减少专业工种之间的交叉作业，提高劳动效率
4	加强现场施工检查及监督整改，在保证运输通畅、材料堆放满足施工的前提下，最大限度地减少场内二次运输
5	满足生产、生活、安全防火、环境保护和劳动保护要求
6	根据各阶段施工需要，及时调整现场平面布置
7	现场场地狭小，必须合理布置现场交通路线，同时考虑排水措施等

2. 施工现场平面布置

（1）由于本工程场地狭小，所以必须根据施工进度及时调整现场平面布置。

（2）项目现场不设置生活区，管理人员办公、职工生活住宿均在附近租赁房屋。

（3）现场布置塔式起重机一台，输送泵一台，施工电梯两台，砂浆搅拌站两个，钢筋棚、木工棚各一个，施工出入口两个，同时配有厕所、门卫室、工具间、农民工学校等临时设施，满足生产要求。

3. 临时用水用电

本工程临时用水用电均由建设单位指定点接入，装表单独计量，现场设置消防栓、消防水池、配电房。具体详情参见临时用水用电专项施工方案。

4. 附图

某楼项目基础施工阶段施工现场平面布置如附图7所示。

某楼项目主体装饰阶段施工现场平面布置如附图8所示。

第九章　主要技术组织措施

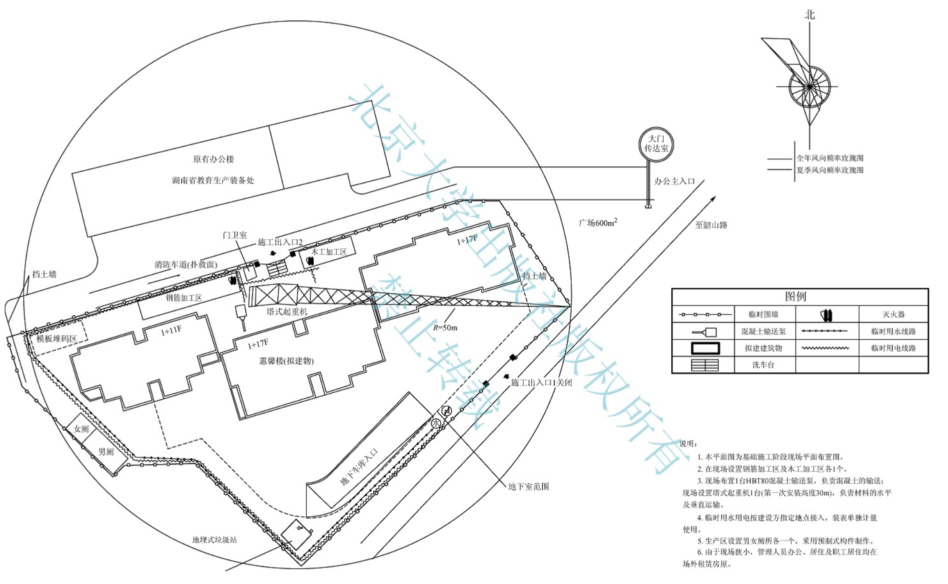
1. 质量保证措施

1）质量目标

工程质量确保达到国家验收的合格标准，力争省优工程。

2）质量管理机构

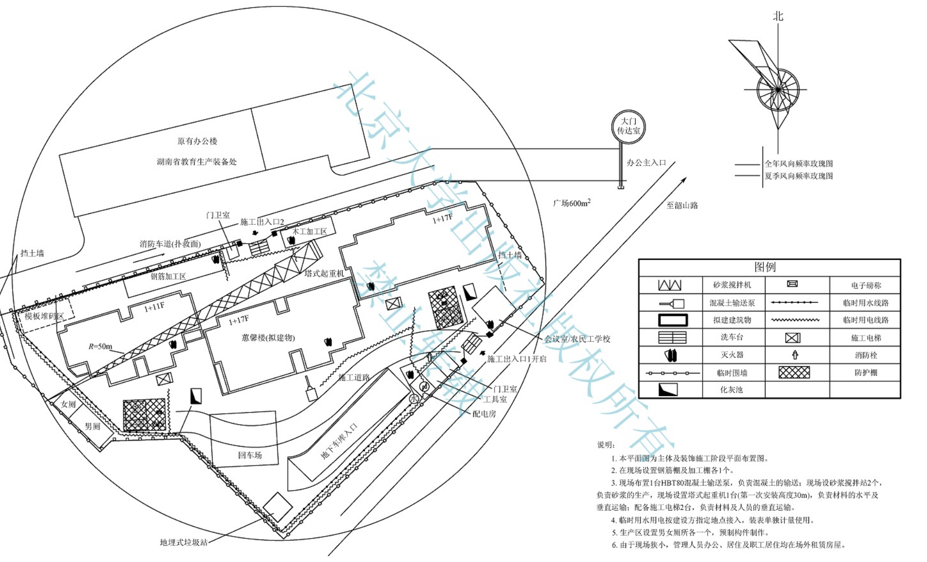
（1）项目质量管理机构如附图9所示。



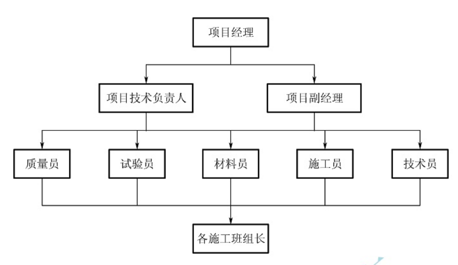
说明：

1. 本平面图为基础施工阶段现场平面布置图。
2. 在现场设置钢筋加工区及木工加工区各1个。
3. 现场布置1台HBT80混凝土输送泵，负责混凝土的输送；现场设置塔式起重机1台(第一次安装高度30m)，负责材料的水平及垂直运输。
4. 临时用水用电按建设方指定地点接入，装表单独计量使用。
5. 生产区设置男女厕所各一个，采用预制式构件制作。
6. 由于现场狭小，管理人员办公、居住及职工居住均在场外租赁房屋。

附图7　某楼项目基础施工阶段施工现场平面布置



附图8　某楼项目主体装饰阶段施工现场平面布置



附图 9　项目质量管理机构

(2) 质量管理领导小组。

① 成立以技术负责人为组长的质量管理领导小组，负责本项目质检机构的组建、人员安排及各项规章制度的制定，组织各项工程的检查验收和质量检查评比、处理重大质量事故。

② 质量管理领导小组成员：组长为项目技术负责人，组员包括质量员、试验员、材料员、施工员、技术员、各施工班组长。

③ 质量员负责对各种规章制度的执行情况进行检查，处理质检方面的日常工作。

④ 试验员负责项目的试验规程、规范及制度的执行，制定试验方案，负责质量检查和试验工作，为监理工程师提供所需的试验数据。

⑤ 所有质检人员和试验人员均选派具有相应技术职称和多年工程实践经验、工作认真负责并获得上岗证的人员担任，配备完整的检测和试验设备，能独立地行使质量一票否决权。

3) 技术组织措施

全面推行《工程建设施工企业质量管理规范》(GB/T 50430—2007) 标准，认真贯彻执行公司的《质量手册》和《程序文件》，并结合本工程的实际情况，组织项目管理人员编制本工程项目的《质量保证计划》，建立健全项目质量管理和质量保证体系，确保本工程严格按国家现行规范和操作规程施工。

(1) 贯彻执行各级技术岗位责任制，在熟悉图纸的基础上，认真搞好图纸会审、施工组织设计、施工作业设计和作业指导书等技术基础工作。分部分项工程施工前，技术人员要认真做好技术准备工作，分层分级做好技术交底工作。在施工过程中密切配合建设单位、设计单位和质检单位的检查，共同抓好现场施工质量技术管理工作。

(2) 严格把好原材料进场质量关，材料进场必须有出厂合格证或材质证明，并应按要求做好原材料的送检试验工作，同时做好成品、半成品的保护工作，所有原材料、成品、半成品都必须经检验合格后方能使用，同时还应做好产品标识和可追溯性记录。

(3) 现场设专职质检员，严格执行质量检查制度，实行质量一票否决权。质检员对整个工程质量有严格把关的责任，对关键部位、隐蔽工程应重点检查，并随时检查各道工序，发现问题及时限期整改或停工处理。

(4) 施工过程中应严格按图纸设计要求和施工验收规范对施工全过程进行质量控制，

贯彻以自检为基础的自检、互检、专职检的“三检”制，每道工序经检查合格后，方可进行下道工序施工。对于特殊工序应编制作业指导书，并对施工过程进行连续监控。施工工长应认真及时办理各种隐蔽工程验收和签证。

(5) 组织高素质的专业施工队伍，对参加施工的人员必须进行进场教育和技术交底，特种作业人员必须持证上岗。

2. 安全保证措施

1) 安全生产管理体系

安全生产管理体系见附图10。

- 安全生产管理体系
  - 思想保证 项目经理
    - 项目部季度安全教育 — 班组每周安全活动
  - 组织保证 项目经理
    - 项目部安全领导小组
    - 市安监站 — 项目部安全监督部
    - 项目经理安全责任制 — 部门安全责任制
    - 岗位安全责任制
  - 制度保证 项目经理
    - 国家、地方性安全生产法律法规
    - 公司安全生产规章制度
    - 项目安全工作标准 — 计划、教育、检查、奖罚
    - 特殊工种、特种设备、关键工序安全操作规程
  - 技术保证 总工
    - 施工组织设计安全保证措施
    - 应急避险安全技术措施
    - 分部、分项工程安全技术交底
    - 安全管理小组 — P、D、C、A
  - 资源保证负责人(质安负责人)
    - 施工现场安全防护措施
    - 施工现场安全警示标志
    - 作业人员劳动保护用品

附图10 安全生产管理体系

2) 安全生产组织机构

(1) 安全生产领导小组。

项目经理部设质安管理部，由项目经理和项目副经理直接领导，现场安全员、施工员、班组长及工人均属于安全生产管理机构的组成部分。项目经理是项目部安全生产第一责任人；安全员对安全生产具有一票否决权，有权决定停工整改。

安全生产领导小组见附表23。

附表23　安全生产领导小组

职　　务	人　　员	主要工作分工
组长	项目经理	施工安全总负责
副组长	技术负责人	负责本工程全面安全技术管理，处理现场有关安全事务等
副组长	项目副经理	负责现场安全生产管理，落实各项安全防护工作等
组员	质安负责人	负责生产全过程安全管理工作等
组员	专职安全员	负责日常安全检查，督促隐患整改，监督安全事务工作等
组员	设备与安装负责人	负责现场设备与安装的安全管理，落实各项安全防护工作等
组员	机电设备负责人	负责机电设备、消防安全管理工作等

（2）专职安全机构（质安管理部）的职责。

① 贯彻劳动保护法规。

② 开展安全生产宣传教育。

③ 组织安全生产检查。

④ 研究解决施工中的不安全因素。

⑤ 参加事故调查，提出事故处理意见。

⑥ 审查施工组织设计中的安全技术措施，并督促实施。

⑦ 制止违章作业，遇有险情有权暂停生产。

（3）专职安全员的职责。

① 施工现场巡视检查，及时通知有关人员按期消除隐患。

② 检查电气线路开关和漏电保护装置是否都整齐有效。

③ 检查架子、安全网使用情况。

④ 监督施工人员遵守操作规程，制止违章作业。

⑤ 检查夜间值班及场内道路的照明设施。

⑥ 检查施工所用机械设备的安全性，及时消除隐患。

⑦ 按住建部《建筑施工安全检查标准》和公司现场安全管理各种表格要求及时填写安全资料归档，搞好安全生产内业管理。

3）安全交底和安全教育

安全交底和安全教育应定期进行，安全交底由技术负责人主持。每一分项工程作业前，由施工员下达书面的安全技术交底，班组长履行签字后才能施工。进场的工人均进行严格的三级安全教育，特种作业工人持证上岗。

4）生产现场安全技术措施

本工程属高层建筑，高空作业多，需高空吊装大体积构件，安装工程预留洞口众多，防护量大，因此安全防护工作很重要。

高层建筑施工外架13～18层采用悬挑式钢管外架，外架上满挂密目安全网进行全封闭，外设剪刀撑固定；同时为了减少施工噪声，在外架的内侧满挂钢丝网，用以悬挂吸音板，也能起到封闭外架的作用，增加施工安全系数。

外架的首层、顶层和施工作业层必须用脚手板铺满、铺平、铺稳，保证有三个支撑点绑扎牢固，不得有探头板。架体与建筑之间应逐层进行封闭（用水平网或板），防止坠物伤人。

进入施工现场的人员必须戴好安全帽，禁止穿高跟鞋、拖鞋，打赤脚、赤膊，施工人员必须佩戴好安全带。

凡人员进出的通道口搭设防护棚，严防高空坠物伤人；电梯井口及井道内设防护栏杆和防护网。

3. 进度保证措施

工期是工程建设控制的关键，在实际施工过程中，由于种种原因，可能会出现设备材料交付延误、设备缺陷、设计变更及自然灾害等，对工程进度造成不利影响。为确保本工程按要求如期完成，主要通过“可靠准确计划，及时衡量进度，果断定量调节，有效纠正偏差”的不断循环，并在循环中调整资源，实现对工程进度的有效控制，以达到预期的工期目标。

1）组织措施

（1）对设备材料交付延误，项目部除及时向公司有关部门书面汇报外，还将积极主动与相关单位加强协调，必要时项目部将根据情况尽最大努力帮助有关方面承担部分工作。

（2）对设备缺陷，无论是在开箱过程中还是在安装过程中发现的问题，项目部将尽快提出设备缺陷报告，并主动提出消除缺陷的建议，在供货方设备缺陷报告答复后，在现场条件允许的情况下，尽快组织人员消除缺陷，确保工程进度。

（3）对设计变更，项目部将在工程开工和每个专业工程开工前，按照《图纸会审管理程序》和《设计变更管理程序》的要求，由各级技术人员组织图纸会审，及时发现设计文件中存在的问题，对有可能出现的问题提出变更要求和变更建议，使问题消除在萌芽状态。

（4）对施工过程中出现的影响工期的自然灾害，项目部将听从业主的安排，协助业主调整二级进度计划，并根据二级进度计划的要求调整项目部的三级进度计划，在业主的总体计划安排下，按时完成任务。

（5）对雨季造成的施工停滞状态，项目部将采取有效的雨季施工措施，减少天气原因造成的施工停滞。

（6）针对夏季气温较高的情况，项目部采取夜间施工、白天休息的办法或适当调整作息时间，在保证不影响周边居民休息的情况下合理安排施工，从而保证施工正常进行。

（7）加强装修与安装、土建与给排水、电气安装与消防安装等各专业之间的衔接配合，在施工前组织各专业负责人根据各自的设计要求做好空间与时间的协调与安排，避免因工序安排的原因造成窝工。

（8）将外装修贴面砖、门窗工程与内装修抹灰、地面等工作合理安排时间，外装修及门窗安装从上至下进行，内装修先进行墙面抹灰工作。不使外装修及门窗安装影响到内装修中地面、顶棚、涂料等后续工作，确保工程的交叉作业和各工种之间的流水作业能够顺利进行。

2）技术措施

先进的施工工艺、材料和技术是进度计划成功的保证。针对本工程的特点和难点，采用先进的施工技术和材料以加快施工进度、缩短工期，从而确保各里程碑工期目标和总体工期目标的实现。

(1) 采用整体大模板施工技术，现浇柱、梁、板采用定型模板，并进行编号，缩短支模时间；梁、板混凝土掺早强剂以缩短养护时间，改善操作条件，加快混凝土强度的形成，提早拆模时间。

(2) 投入充足的支撑、模板等周转材料及技术娴熟的生产工人和高水平的管理人员，以缩短施工工期。

(3) 合理安排施工工艺，切实组织好多工序的交叉作业，加强土建与安装的配合协调，及时做好管道暗敷预埋，不事后凿墙打洞，以免相互影响而延误工期。

(4) 钢筋连接采用绑扎搭接，可大大加快施工进度。

(5) 混凝土的供应采用预拌混凝土，加快混凝土的浇筑工作。

(6) 门窗、栏杆等均采用外购成品、半成品，现场安装；在管道立管安装中采取先预制后安装的方法，以加快进度。

4. 现场文明施工措施

文明施工目标：实行现场标准化管理和开展创“省安全质量标准化示范工程”活动，施工现场和临时设施整洁、美观、卫生，施工过程有序、低噪、无尘，确保本工程达到“省级安全质量标准化示范工程”的要求。

1) 现场围挡

(1) 根据现场情况在工地四周设置连续、密闭的砖砌围墙，高 2.5m。

(2) 不得在工地围墙外堆放材料、垃圾。

2) 道路、场地硬化及绿化

(1) 道路、场地硬化。

① 施工现场临时道路应进行硬化，采用混凝土路面，道路宽度不小于 3.5m，消防通道净宽不小于 4m。

② 现场临时道路应尽量设成环形，对不能设成环路的道路应设不小于 12m×12m 的回车坪，回车坪地面做法同道路。

(2) 场地绿化。施工现场应视情况进行绿化，绿化宜种植草皮、灌木等易成活花木。

3) 材料堆放

(1) 施工现场工具、构件、材料的堆放，必须按照总平面图规定的位置放置。

(2) 各种材料、构件必须按品种、分规格堆放，并设置明显标志。

(3) 各种物料堆放必须整齐，砖成丁，砂、石等材料成方，大型工具应一头见齐，钢筋、构件、钢模板应堆放整齐并用木方垫起。

(4) 作业区及建筑物楼层内，应随完工随清理。各楼层内清理的垃圾应及时运走，施工现场的垃圾也应分类集中堆放。

4) 员工生活环境

(1) 卫生间。

① 施工现场应设厕所，并保持干净、定期消毒，有专人管理和清扫等。

② 卫生间内必须设置洗手池，卫生间外必须设置化粪池。

(2) 办公、生活区。由于本工程场地狭小，项目现场不设置办公、生活区，管理人员办公、职工生活住宿均在附近租赁房屋。

参 考 文 献

《建筑施工手册》编写组．建筑施工手册（第4卷）[M]．4版．北京：中国建筑工业出版社，2003.

林孟洁，彭仁娥，刘孟良．建筑施工组织[M]．2版．长沙：中南大学出版社，2016.

全国二级建造师执业资格考试用书编委会．建设工程管理与实务[M]．北京：中国建筑工业出版社，2017.

申永康．建筑工程施工组织[M]．重庆：重庆大学出版社，2013.

危道军．建筑施工组织（土建类专业适用）[M]．3版．北京：中国建筑工业出版社，2014.

张廷瑞．建筑施工组织与进度控制[M]．北京：北京大学出版社，2012.

中华人民共和国国家标准．建筑施工组织设计规范（GB/T 50502—2009）[M]．北京：中国建筑工业出版社，2009.

中华人民共和国行业标准．工程网络计划技术规程（JGJ/T 121—2015）[S]．北京：中国建筑工业出版社，2015.

中华人民共和国行业标准．建筑与市政工程施工现场专业人员职业标准（JGJ/T 250—2011）[M]．北京：中国建筑工业出版社，2011.

中华人民共和国劳动和劳动安全行业标准．建设工程劳动定额：装饰工程（LD/73.1-4—2008）[S]．北京：中国建筑工业出版社，2009.